

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:

Takeshi SAKAMOTO

Application No.:

Group Art Unit: Unassigned

Filed: October 29, 2003

Examiner: Unassigned

For: WAVELENGTH-DIVISION MULTIPLEXING OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents  
PO Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)  
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2002-315204

Filed: October 30, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing  
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the  
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: Oct 29 2003  
/

By: Mark J. Henry  
Mark J. Henry  
Registration No. 36,162

1201 New York Ave, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20005  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                    2 0 0 2 年 1 0 月 3 0 日  
Date of Application:

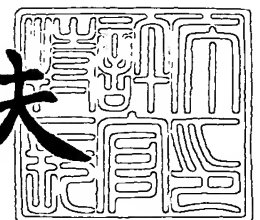
出 願 番 号                    特 願 2 0 0 2 - 3 1 5 2 0 4  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                    [ J P 2 0 0 2 - 3 1 5 2 0 4 ]

出      願      人                    富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    9 月    3 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 7 1 8 3 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251323

【提出日】 平成14年10月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/10

【発明の名称】 波長多重光通信システム

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

    【氏名】 坂本 剛

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100084711

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 斉藤 千幹

    【電話番号】 043-271-8176

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 015222

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9704946

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長多重光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、

光増幅器と同一ノードであって該光増幅器が存在するリンクと対向するリンクにおけるラマンアンプの使用状況、あるいは、前記光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得する手段、

該ラマンアンプの使用状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段、

を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 2】 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、

前記光増幅器の下流側のノードにおいてラマンアンプが、該ラマンアンプに接続された光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性に基づいて該波長特性の平坦化制御を行っているかの実施状況を取得する手段、

該ラマンアンプにおける平坦化制御の実施状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段、

を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項 3】 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

ラマンアンプに設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、

前記ラマンアンプから受信端のノードまでに生じる伝送路の波長特性のチルト量に基づいてスロープ補正量を算出する手段、

該スロープ補正量を前記ラマンアンプのスロープ補正制御手段に設定する手段

を備え、ラマンアンプのみでスロープ補正を行うことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項4】 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

ラマンアンプに設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、

前記ラマンアンプから受信端のノードまでの間に生じる波長特性の総チルト量からその間に存在する光増幅器のスロープ補正量を減算してラマンアンプのスロープ補正量を算出し、該ラマンアンプの前記スロープ補正制御手段に設定する手段、

を備え、ラマンアンプは設定されたスロープ補正量に基づいてスロープ補正を行うことを特徴とする波長多重光通信システム。

【請求項5】 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

スロープ補正量が制限された光増幅器及びラマンアンプにそれぞれ設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、

各ノード間の光損失媒質の損失波長依存性の情報と、各光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量を取得し、これらより各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算し、該チルト量を用いて上流側から順に光損失補償器のスロープ補正量を決定し、該スロープ補正量が光損失補償器の能力を超えたとき下流側のノードを対象にして上記制御を繰り返して各光損失補償のスロープ補正量を決定して設定する手段、

を備え、光損失補償器は設定されたスロープ補正量を用いてスロープ補正することを特徴とするにおける波長多重光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、波長多重光伝送システムに係わり、特に、特に、光増幅器の利得や伝送路光ファイバの損失などの波長依存性によって生じる受信光パワーのチャンネル間偏差(波長間偏差)を抑圧することにより光伝送システムの大容量化、長距離化を実現する波長多重光通信システムに関する。

**【0002】****【従来の技術】**

波長多重光増幅中継伝送システムにおける受信光パワーのチャンネル間ばらつき(波長間ばらつき)は、波長多重信号が通過する光損失媒質(光デバイス、光増幅器、光伝送路)などの特性、波長依存性に起因し、その要因と特徴により以下のような成分に分類される。

- 1) 光伝送路、光デバイスの損失波長依存性、光伝送路のラマン効果などに起因するスロープ(一次傾斜)成分。
- 2) 光増幅器の利得の波長依存性などに起因するうねり(比較的緩やかにスペクトル形状が上下する)成分。
- 3) 光増幅器内の利得等化器、OADM(Optical Add/Drop Multiplexer)などに使用する光デバイス、各チャンネルの送信器出力レベル偏差および波長多重後の調整誤差などに起因するリップル(0.1～1nmオーダーでの偏差)成分。

**【0003】**

これらの要因の結果としておこる、受信端における光パワーのチャンネル間ばらつきは、光SNRのばらつきを発生し、その結果として伝送特性(ビットエラーレートBER)を劣化させることとなり、波長多重光伝送の容量、伝送距離を著しく制限してしまうこととなる。すなわち、多重化された波長のうち、最も低いパワーの波長信号が伝送後の受信パワーの下限值であるので、最大伝送距離は、最も低いパワーの波長信号によって制限される。したがって、伝送後の波長間偏差を低減することが最大中継伝送距離を拡大させる上で重要となる

**【0004】**

そのため、下記のような対策、制御を行い、チャンネル間バラツキを最小限に抑えるように工夫がされている。

- 1) 光プリアンファシス制御によるスロープ、うねり、リップル成分の補償。
- 2) 希土類添加ファイバで構成される光増幅器(EDFA)のスロープ補正制御によるスロープ成分の補償。
- 3) ラマンアンプのスロープ補正制御、平坦化制御によるスロープ、うねり成分の補償。

**【0 0 0 5】****・ プリアンファシス制御**

光プリアンファシス制御は受信端での受信光SNRを測定または計算し、光SNRが均一になるように送信端で送信パワーを調整する機能である。図22は光プリアンファシス制御の説明図である(特開平2001-203414号公報)。光送信局11内の光送信器11aで生成されたWDM(Wavelength division multiplexing)光信号は、光伝送路12に設けられた複数個の光中継器13a、13b、…13nで光伝送路12の損失や光中継器13a、13b、…13nの損失を補償するために増幅されて、光受信局14に伝送され、光受信器14aにより受信、処理される。光中継器13a、13b、…13nの損失は、局内の分散補償ファイバなどの光部品によって生じる。

**【0 0 0 6】**

WDM光信号は、光送信器11aから光伝送路12へ送出される際、光送信局内のプリアンファシス制御回路11bによってプリアンファシスが施される。すなわち、プリアンファシス制御回路11bは、光受信局14より受信した全チャネルの光SNRの平均値と各チャネルの光SNRの差を演算し、該差を補償するように各チャネルの光レベルを調整し、光送信器11aは該調整された全チャネルの光信号を波長多重して光伝送路12へ送出する。そして、各波長光信号の光SNRは、光受信局14に備えられた光SNR測定回路14b、例えばスペクトルアナライザによって測定され、回線15を介して光送信局11に送信され、以後上記プリアンファシス制御が繰り返される。以上により光受信局14においてSNRが均一になるように制御される。

**【0 0 0 7】****・ 光増幅器のスロープ補正制御**

光増幅器でのスロープ補正制御は、光増幅器に入力されている波長の多重数情報と、送信先までの伝送路ファイバ距離情報等から、次段の光増幅器における入

力信号(スペクトル)の波長特性が平坦になるように予めスロープをつけた状態で送信する機能である(特願2001-244528号公報)。図23はスロープ補正機能を備えた光増幅装置の構成図である。光増幅装置20は、光伝送路21から入射する光を増幅して光伝送路22へ射出する際、光伝送路22が持つ損失波長特性を補償する利得波長特性で増幅する。すなわち、光増幅装置20は、ある波長帯域に亘る光を射出する場合、光伝送路22における光の短波長側の損失と長波長側の損失との差を予め補償するように射出する。この損失差は、光が光伝送路22を伝送する間に該光伝送路の損失波長特性によって生じるものであり、光増幅装置20は、利得波長特性を光伝送路22の損失波長特性とほぼ逆特性にして予め補償する。

#### 【0 0 0 8】

光増幅装置20は、光を増幅する第1光増幅手段20aと、第1光増幅手段で増幅された光を減衰する光減衰手段20bと、光減衰手段20bで減衰された光を増幅して光伝送路22に射出する第2光増幅手段20cと、光増幅装置20の利得波長特性が光伝送路22の損失波長特性をほぼ補償するように光減衰手段20bの減衰量を調整する制御手段20dとを備えている。実際には、幾つかの波長毎に図23の光増幅装置が設けられ、各光増幅装置の出力光を合波することにより光伝送路22の損失波長特性を補償するようになっている。

#### 【0 0 0 9】

・ ラマンアンプのスロープ補正制御、平坦化制御

ラマンアンプは図24に示すように励起光波長から増幅媒体のラマンシフト量だけシフトされた信号波長に利得を生じるものであり、ラマンシフト量及びラマン帯域は増幅媒体固有に与えられるものである。従って、励起波長を長波長側にシフトすると利得の中心波長及び利得帯域が励起波長のシフト量と同じだけ長波長側にシフトする。また、励起波長が僅かずつ異なる励起光源を一括して増幅媒体に入力することにより図25に示すように広帯域の光増幅が可能である。また、利得は励起光波長のパワーが大きいほど大きくなるように変化するから、各励起波長のパワーを制御することにより任意の利得特性をラマンアンプに付与することができる(特開平2002-72262号公報)。

#### 【0 0 1 0】



ラマンアンプでのチルト補償制御には2種類ある。第1のチルト補償制御はスロープ補正制御であり、入力光信号の波長多重数と補償対象区間の光伝送路の距離とから波長特性のスロープ量(チルト量)を計算し、該スロープ量から励起比率を決めて、ラマンアンプに接続されている光増幅器への入力スペクトルを平坦化しつつ増幅する機能(Feed Forward制御)である。図26はラマンアンプのスロープ補正制御の構成図であり、複数の信号光が波長多重されて、ラマンアンプ30の入力側から後方励起されたラマンアンプ増幅媒体31に入力する。波長多重部32は中心波長が異なる励起光源ブロック33a、33b、33cからの波長 $\lambda_{p1} \sim \lambda_{p3}$ の励起光を多重して合波カプラ34に入力する。合波カプラ34は、波長 $\lambda_{p1} \sim \lambda_{p3}$ の励起光と複数の主信号光を波長多重した波長多重信号とを合波してラマンアンプ増幅媒体31に供給する。励起光制御部35は主信号光を波長多重した波長多重信号の多重数と補償対象区間の光伝送路の距離とから波長特性のスロープ量(各波長のチルト量)を計算し、該波長特性と逆特性となるように各励起光のパワーを計算して励起光源ブロック33a、33b、33cに入力する。この結果、励起光源ブロック33a、33b、33cは入力されたパワーに応じた強さを有する波長 $\lambda_{p1} \sim \lambda_{p3}$ の励起光を発生し、補償対象区間の光伝送路で発生するチルトを補正する。

#### 【0 0 1 1】

図27はラマンアンプの平坦化制御の構成図であり、図26と同一部分には同一符号を付している。異なる点は、平坦化制御では図示しない光増幅器の入力部(ラマンアンプの出力部)の波長特性の傾斜(チルト)をスペクトルアナライザ37で検出し、該チルトを補正して平坦化する点である(Feed Back制御)。図では、励起光制御部35は、スペクトルアナライザ37の出力より波長特性の傾斜(チルト)を計算し、該波長特性と逆特性となるように各励起光のパワーを計算して励起光源ブロック33a、33b、33cに入力する。この結果、励起光源ブロック33a、33b、33cは入力されたパワーに応じた強さを有する波長 $\lambda_{p1} \sim \lambda_{p3}$ の励起光を発生し、補償対象区間の光伝送路で発生するチルトを補正し、波長特性を平坦化する。

#### 【0 0 1 2】

図27ではラマンアンプから出力する波長多重信号の波長特性の傾斜(チルト)を検出し、該チルトを平坦化するが、実際には、ラマンアンプに光増幅器が接続され

ているから、該光増幅器の入力部あるいは出力部におけるスペクトル(波長特性)をスペアナモジュールを用いて監視しながら光増幅器への入力スペクトルを平坦化する。

以上の補償方式により、受信端におけるチャネル間の光パワー偏差、光SNR偏差を最小限に抑え、大容量、長距離の伝送を可能にする。

【特許文献1】 特開平2001-203414号公報

【特許文献2】 特願2001-244528号公報

【特許文献3】 特開平2002-72262号公報

【0 0 1 3】

【発明が解決しようとする課題】

単位波長あたりのコストの低減、という市場のニーズに答えるために、コストのかかる光再生器(Regenerator)を挿入するスパン間隔をできるだけ伸ばし、2000km、3000km超といった距離を光のままで伝送する超長距離伝送システムの需要が高まってきている。しかし、光のままで伝送する距離が長くなればなるほど、通過する伝送路、光デバイス、光増幅器などの数が増え、その結果として受信光パワーのチャネル間ばらつきが増大する。

送信端の光減衰器の減衰量や送信光増幅器の入力レベルの制限などにより、光プリアンファシス制御でまかないきれぬチルト量には限度があり、補償しきれない場合には特定のチャネルの光SNRが劣化することになる。超長距離伝送を実現するためには、送信端の光減衰器の減衰量が制限されている状況下で、光プリアンファシス制御により全チャネルの光SNRを均一化するためには、光プリアンファシスを行う前の段階で、光増幅器、ラマンアンプによるスロープ、うねり成分の除去ができる限り行われている必要がある。

【0 0 1 4】

しかしながら、光増幅器、ラマンアンプなどによるチルト補償量の増加と、超長距離伝送を実現するための光特性の向上とは、相反する関係にある。例えば光増幅器の場合、スロープ補償量を増加させると、余計な励起パワーを見込まなければならなくなるため、雑音指数(NF)が悪くなり、結果的に全体的な受信端での光SNRを悪化させることにつながる。また、ラマンアンプの場合は、次段光増幅

器への入力平坦化を優先させると、光増幅器への入力レベルを下げてしまう可能性があり、こちらも光SNRの劣化につながってしまう。

超長距離伝送システムにおいては、少しでも光SNR特性を向上させるために、雑音指数やラマンアンプのゲイン(光増幅器への入力レベル)を優先させるのが一般的である。そのため、チルトの補償のために、Active GEQ(アクティブ・ゲイン・イコライザ)などの補償デバイスを用いるなどして途中のノードでチルト補償を行う方法が採られている。しかし、コストが高くなること、これらの補償デバイスを入れることで光SNR特性を劣化させる恐れがあることから、チルト補償器の挿入はできる限り少なく、言い換えるとチルト補償器を挿入するまでの距離をできる限り延ばす工夫が必要になってくる。

#### 【0015】

光プリアンファシス制御への負担を軽くし、光SNR改善を優先させ、かつ、光増幅器、ラマンアンプによるチルト補償を有効に行うためには、光増幅器、ラマンアンプによるチルト補償を独立して行うのではなく、システムトータルで必要な個所に必要な量だけ行うような制御、管理が必要である。

以上から本発明の目的は、光プリアンファシス制御への負担を軽くし、光SNR改善を優先させ、かつ、光増幅器、ラマンアンプによるチルト補償を有効に行えるようにすることである。

本発明の別の目的は、光増幅器、ラマンアンプによるチルト補償を独立して行うのではなく、システムトータルで必要な個所に必要な量だけ行えるようにすることである。

本発明の別の目的は、監視制御信号や外部制御装置などを使用して、トータルのチルト補償を有効に行えるようにすることである。

#### 【0016】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムである。

第1の波長多重光通信システムは、光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、光増幅器と同

一ノードであって該光増幅器が存在するリンクと対向するリンクにおけるラマンアンプの使用状況、あるいは、前記光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得する手段、該ラマンアンプの使用状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段を有している。

第1の波長多重光通信システムによれば、ノード間で光増幅器とラマンアンプの一方のみでスロープ補正すれば良い場合、対向するリンクにおけるラマンアンプの存在の有無に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができる。又、上り、下りのスパン距離やファイバ種が異なる場合には、前記光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができる。この結果、過補償になることはなく、しかも、スロープ補正する光増幅器の数を減少することができる。また、下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況は監視制御信号光を用いて、あるいは、外部制御装置を使用して識別することができる。

#### 【0017】

本発明の第2の波長多重光通信システムは、光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、前記光増幅器の下流側のノードにおいてラマンアンプが、該ラマンアンプに接続された光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性に基づいて該波長特性の平坦化制御を行っているかの実施状況を取得する手段、該ラマンアンプにおける平坦化制御の実施状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段を有する。第2の波長多重光通信システムによれば、ラマンアンプが平坦化制御を行う場合にも、前記光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの平坦化制御実施状況に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができる。この結果、過補償になることはなく、しかも、スロープ補正する光増幅器の数を減少することができる。また、下流側のノードにおけるラマンアンプの平坦化実施状況は監視制御信号光を用いて、あるいは、外部制御装置を使用して識別することができる。

#### 【0018】

第3の波長多重光通信システムは、ラマンアンプに設けられ、光損失媒質の損

失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、前記ラマンアンプから次のラマンアンプが存在するノードまでに生じる伝送路の波長特性のチルト量に基づいてスロープ補正量を算出する手段、該スロープ補正量を前記ラマンアンプのスロープ補正制御手段に設定する手段を備え、ラマンアンプのみでスロープ補正を行う。第3の波長多重光通信システムによれば、ラマンアンプのみでスロープ補正を行うことができ、光増幅器によるスロープ補正をする必要がないため、光SNRの劣化を防止することができる。

#### 【0019】

第4の波長多重光通信システムは、ラマンアンプに設けられ、光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、前記ラマンアンプから次のラマンアンプが存在するノードまでの間に生じる波長特性の総チルト量からその間に存在する光増幅器のスロープ補正量を減算してラマンアンプのスロープ補正量を算出して前記スロープ補正制御手段に設定する手段を備え、ラマンアンプは設定されたスロープ補正量に基づいてスロープ補正を行う。この第4実施例によれば、光増幅器のスロープ補正量に制限がある場合であっても、ラマンアンプでその不足分を補ってスロープ補償することができる。

#### 【0020】

第5の波長多重光通信システムは、①スロープ補正量が制限された光増幅器及びラマンアンプにそれぞれ設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、②各ノード間の光損失媒質の損失波長依存性の情報と、各光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量を取得し、これらより各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算し、該チルト量を用いて上流側から順に光損失補償器のスロープ補正量を決定し、該スロープ補正量が光損失補償器の能力を超えたとき下流側のノードを対象にして上記制御を繰り返して各光損失補償のスロープ補正量を決定して設定する手段、を備え、光損失補償器（光増幅器、ラマンアンプ）は設定されたスロープ補正量を用いてスロープ補正する。この第5の波長多重光通信システムによれば、光増幅器及びラマンアンプのスロープ補正量が制限されている場合であっても、

制限された補正量範囲で最適な補正量を光増幅器及びラマンアンプに設定することができ。

### 【0021】

#### 【発明の実施の形態】

##### (A) 本発明の概要

各ノードの光増幅器、ラマンアンプがスロープ補正、平坦化制御をするべきかどうか、する必要がある場合はどの程度行うか、更に、その情報をどうやって入手し、どこで制御の有無、制御量を決めるかについて考慮する必要がある。

これらの情報を得るために、監視制御信号を用いる。監視制御信号内に、ラマンアンプの位置、平坦化制御の有無、各光増幅器、ラマンアンプの可能な補正量、必要によっては各ノードでの波長特性のチルト量などのデータを入れて送受信することで、各ノードの監視制御装置、または光増幅器、ラマンアンプ自身が必要な制御量を計算し、実際に制御を行う。

### 【0022】

また、最適な制御量を決めるために、複雑で詳細な計算などが必要な場合は、外部ツール(外部制御装置)などを用いて計算を行った上で、監視制御信号で各ノードの監視制御装置、または光増幅器、ラマンアンプに設定することも可能である。

更に、ラマンアンプの励起光波長が可変である場合には、各ノードから収集されたデータから更に細かい平坦化制御を行うことも可能である。

以下の実施例では、光増幅器、ラマンアンプの可能なスロープ補正量、光プリエンファシスの可能な制御量などの制限を考慮した上でのチルト対策が可能な波長多重光通信システムを提案する。

### 【0023】

##### (B) 従来のスロープ補正方式のまとめ

第1実施例をより理解しやすくするために、最初に、従来の光増幅器、ラマンアンプそれぞれのスロープ補正方式について、簡単にまとめておく。

図1は光増幅器でのスロープ補正説明図である。光増幅器のスロープ補正の構成は図示しないが、図23に示す構成を備えている。

図中の伝送路(光ファイバ)41は、短波長側の損失が長波長側の損失より大きい波長損失特性を持っており、(A)に示すように、光増幅器42の送信端にて平坦なまま出力すると、次段の光増幅器43の入力部にてチルトを持った状態で入力することになる。光伝送システムにおける理想のスペクトルは、各光増幅器の入力部にて平坦なスペクトルになることであり、このままでは短波長側の光SNRが著しく劣化することになる。そのため、(B)に示すように光増幅器42の送信端にて予め短波長側の光出力レベルが高くなるように設定して送信し、次段の光増幅器43への入力スペクトルが平坦になるようにする。これが光増幅器におけるスロープ補正である。

#### 【0 0 2 4】

図2はラマンアンプでのスロープ補正説明図である。ラマンアンプのスロープ補正の構成は図示しないが、図26に示す構成を備えている。

短波長側から長波長側まで同じ利得になるような増幅方式の場合、光増幅器42、43及びラマンアンプ44のいずれもがスロープ補正をしなければ、光伝送路41の損失の波長依存性などによって、光増幅器43の入力スペクトルはチルトを持ってしまう。この損失の波長依存性を予め計算、測定などによって見込んでおき、短波長側を増やし、長波長側を減らすようラマンアンプ44に励起を与えることで、(B)に示すように受信端でのスペクトルを平坦に保つことが可能になる(スロープ制御)。

#### 【0 0 2 5】

図3は、図2の考え方を少し進めて、(B)に示すように、次段の光増幅器43の入力部に波長特性を検出するスペクトラムアナライザ45を設け、該入力部で波長特性が平坦になることを確認しながら、ラマンアンプ44の励起光を調整する(平坦化制御)。ラマンアンプの平坦化制御の構成は図示しないが、図27に示す構成を備えている。

平坦化制御では図2のスロープ制御に比べて、計算誤差などが生じないこと、動的なスペクトルの動きにも対応できることなどの利点がある。また、スペクトラムアナライザ45は、光増幅器42以前で発生するスロープまたはいねりの成分をも補完することができ、また、光増幅器43のうねり、スロープ成分の程度が小さ

いときには無視することによって、光増幅器43の出力部に配置することも可能である。尚、(A)は平坦化制御を行わない場合である。

以上のような各スロープ補正方式について、まず、補正量に制限が全くない場合から、徐々に制限が加わっていった場合までのシステム全体で考慮したスロープ補正方式について、順を追ってまとめる。

#### 【0 0 2 6】

(A) 光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量に充分余裕がある場合

図4はラマンアンプを使用しない波長多重光通信システムにおいて、送信端46、受信端47間の光増幅器42a～42fがスロープ補正を全く行わない場合を示している。なお、各伝送路において損失の波長依存性などによって1スパンあたり、 $+a$ (dB)のチルトが発生すると仮定する。短波長側が低く、長波長側が高くなるようなチルトの符号はプラス、逆の場合の符号はマイナスである。図では各スパンのチルトが累積して受信端において $+5a$ (dB)のチルトが発生しており、短波長側の光SNRが著しく劣化している。

#### 【0 0 2 7】

図5は、同じくラマンアンプを使用しない波長多重光通信システムにおいて、各光増幅器42a～42fでそれぞれ $-a$ (dB)のスロープ補正を施した場合である。この場合は、各光増幅器42a～42fの入力部にてスペクトルが平坦になっており、光SNRは理想的な状態になっている。

#### 【0 0 2 8】

図6は、図5の波長多重光通信システムにスロープ補正を行うラマンアンプ44a～44cを挿入した波長多重光通信システムである。この波長多重光通信システムでは、各光増幅器42a～42f、各ラマンアンプ44a～44cがそれぞれ独立して $-a$ (dB)のスロープ補正を行っている。この場合、システム全体としては過補償の状態になっており、受信端では長波長側の光SNRが著しく劣化する。

図6の波長多重光通信システムにおいて、光増幅器、ラマンアンプのそれぞれのスロープ補正量に充分に余裕がある場合は、ある一つのスパンに対して光増幅器、またはラマンアンプのどちらか一方がスロープ補正を行えばよい。第1実施例では、かかる場合において、各光増幅器のスロープ補正の有無をシステム全体の



ラマンアンプの挿入状況を参照して決定する。

#### 【0 0 2 9】

##### (a) 第1実施例

図7は、対向側のラマンアンプの挿入状況を見てスロープ補正の有無を決定する第1実施例の波長多重光通信システムの構成図である。各光増幅器、ラマンアンプはスロープ補正機能を有しているものとし、それぞれの構成は図23、図26に示されている。送受信端51, 52間はEW側リンク(上りリンク)53、WE側リンク(下りリンク)54で接続され、所定距離毎に、光信号を増幅すると共にチャネル間偏差を補償するための中継局55a～55dが設けられている。送信端、受信端、中継局をノードと総称すれば、図ではノードA～ノードFが設けられている。送信端であるノードA、中継局55a～55dであるノードB～E、受信端52であるノードFには、上り、下りリンクの光増幅器PAM、監視制御部MNTが設けられ、適宜、ラマンアンプRAMが設けられている。

#### 【0 0 3 0】

ラマンアンプRAMはすべてスロープ補正をしているものとした場合において、光増幅器のスロープ補正を実施するか否かを決定するには以下を考慮する。

通常、あるノードAからノードBまで至る伝送路においてはEW側、WE側ともに同じ距離、同じファイバ種である。このため、ラマンアンプRAMの挿入パターンも同じである場合が多い。そこで、各ノードの監視制御部MNTは着目する光増幅器PAMが存在するリンクの対向側リンクにラマンアンプRAMが存在するかチェックする。存在すれば、自分と同じリンク上の同じスパン上に必ずラマンアンプRAMが存在する。かかる場合には、着目する光増幅器のスロープ補正を行わず、対向側リンクにラマンアンプが存在しなければ、着目する光増幅器のスロープ補正を行う。例えばノードAの上りリンクの光増幅器PAMに着目すれば、下りリンクにラマンアンプRAMが存在するから、スロープ補正を行わない。又、ノードBの上りリンクの光増幅器PAMに着目すれば、下りリンクにラマンアンプが存在しないから、スロープ補正を行う。このような方式によって、各光増幅器への入力スペクトルを平坦に保つことが可能になる。

#### 【0 0 3 1】

図8は各ノードの監視制御部MNTの処理フローである。

監視制御部MNTは、着目する光増幅器PAMのリンクと対向するリンク上にラマンアンプRAMが存在するかチェックする(ステップ1001)。ラマンアンプRAMが存在すれば、監視制御部MNTは着目する光増幅器PAMのスロープ制御の不実施を光増幅器に指示し(ステップ1002)、ラマンアンプRAMが存在しなければ、次段の光増幅器の入力部における波長特性を平坦にするスロープ制御を行うよう光増幅器PAMに指示する(ステップ1003)。

なお、ここでは詳述しないが、後述する監視制御信号を用いてラマンアンプの存否を識別することもできるし、又、後述する外部制御装置を用いてラマンアンプの存否を識別することもできる。

#### 【0032】

##### (b) 第2実施例

第1実施例ではEW側、WE側の伝送路において各スパンの距離及び使用ファイバが同じとした場合である。しかし、EW側、WE側の伝送路において、異なる距離や、異なるファイバ種を持つ場合も稀に存在し、ラマンアンプの挿入が片方向のみの場合もありえる。例えば図9において、WE側のノードCからノードBに至る伝送路b-2では、ラマンアンプを使用していないが、EW側のノードBからノードCに至る伝送路b-1ではラマンアンプを使用している。かかる場合には、第1実施例を適用することができない。すなわち、対向側におけるラマンアンプの存否を参照して光増幅器のスロープ補正の実施、不実施を決定することはできない。

#### 【0033】

そこで、第2実施例では、波長多重信号と共に多重化されて送受信される監視制御信号を使用して、監視制御部MNTは自分と同一ノード上の着目光増幅器PAMにおいてスロープ補正を実施するか否かを決定する。すなわち、監視制御部MNTは着目光増幅器PAMの下流側同一スパン上にラマンアンプが存在するか否かの情報を得て、その結果で該光増幅器のスロープ補正の実施、不実施を決定する。例えば、下流側にラマンアンプRAMが存在している場合(例えば図9の伝送路b-1)は、その伝送路における送信元の光増幅器(EW側のノードBの光増幅器PAM)はスロープ補正を行わず、ラマンアンプが存在していない場合(伝送路b-2)は、その伝送路の送

信元の光増幅器(WE側のノードCの光増幅器PAM)は、スロープ補正を行う。このような方式を取ることによって、各光増幅器への入力スペクトルを平坦に保つことが可能になる。

#### 【0034】

図10は監視制御信号の送受信説明図である。隣接する2つの第1、第2ノード101、102はノードEW側リンク(上りリンク)103とWE側リンク(下りリンク)104で接続されている。各ノードには上り、下りの光増幅器111、112が設けられ、その前後には分波部113、114、合波器115、116が設けられている。分波器113、114は監視制御信号に割り当てた波長の光を分波し、該波長光をO/E変換部(光・電気変換部)117、118を介して監視制御部(MNT)119に inputs する。監視制御部119は受信した監視制御信号に基づいて所定の制御、例えば、光増幅器111、112のスロープ補正の実施、不実施を制御する。又、監視制御部119は監視結果やラマンアンプの存否情報等を監視制御信号としてE/O変換部121、122に inputs する。E/O変換部121、122は監視制御信号を所定の波長の光に変換し、合波器115、116は主信号光と監視制御信号光を合波して隣接ノードに向けて送信する。図10においてラマンアンプは図示しないが適宜、分波器113、114と光増幅器111、112の間に挿入され、一方のリンク上のラマンアンプの存否は、他方のリンクを介して監視制御信号で隣接ノードに通知される。

#### 【0035】

図11は第2実施例の監視制御部の処理フローである。

各ノードの監視制御部MNTは、自分と同一ノード上の着目する光増幅器の下流側同一スパン上にラマンアンプが存在するかを、着目光増幅器が存在するリンクと対向するリンクより送信されてくる監視制御信号を参照して調べる(ステップ2001、2002)。ラマンアンプが存在しなければ、次段の光増幅器の入力部における波長特性を平坦にするためのスロープ制御を行うよう着目する光増幅器に指示する(ステップ2003)。しかし、ラマンアンプRAMが存在すれば、監視制御部MNTは着目する光増幅器のスロープ制御の不実施を光増幅器に指示する(ステップ2004)。

以上では監視制御信号を用いて各ノードの監視制御部MNTが下流側のラマンアンプの存否を判断した場合であるが、後述する外部制御装置を用いてラマンアンプの存否を識別することもできる。

**【0 0 3 6】**

## ・ 変形例

第2実施例ではラマンアンプRAMがスロープ補正する場合であるが、平坦化制御する場合にも適用できる。すなわち、図27に示すように光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性をスペクトルアナライザで検出し、該検出された波長特性に基づいてラマンアンプで平坦化制御を行なう場合にも適用することができる。

全ての光増幅器がスロープ補正を行った上で、ラマンアンプが平坦化制御を行ったとしても、各ノードの光増幅器への入力スペクトラムを平坦にすることは可能である。しかし、光増幅器でのスロープ補正は、光SNR特性の劣化を引き起こす可能性がある。このため、図11の第2実施例と同様に監視制御信号を使用して、スロープ補正の必要のない光増幅器に対して、スロープ補正を行わないように指示することも可能である。

すなわち、監視制御部MNTは、図12に示すように、着目している光増幅器の下流側のノードにおいてラマンアンプが、該ラマンアンプに接続された光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性に基づいて該波長特性の平坦化制御を行っているかの実施状況を監視制御信号より判断し(ステップ2011、2012)、該ラマンアンプにおける平坦化制御の実施状況に基づいて前記着目光増幅器に対しスロープ補正の実施、不実施を指示する(ステップ2013、2014)。

**【0 0 3 7】**

## (B) 光増幅器のスロープ補正量に制限がある場合

光増幅器におけるスロープ補正制御は、スロープ補正制御を行わない場合に比べてより多くの励起光を必要とするため、雑音指数の良化を優先するためにスロープ補正量を制限する場合がある。このような場合、光プリアンファシス制御でスロープ補正の不足分まで補償することになるが、光プリアンファシス制御は送信端の光減衰器の減衰量や送信光増幅器の入力ダイナミックレンジの制限などによって、補償しきれない場合が出てくる可能性が有る。この対策として、ラマンアンプを使用するシステムでは、以下の第3実施例によってチルトの累積を最小限に抑えることが可能である。

**【0 0 3 8】**

図13は、各光増幅器PAMが雑音指数特性優先のためスロープ補正を行っておらず、ノードB、EのラマンアンプRAMのみが伝送路a-1、d-1のスロープ補償を行っているものとした場合における各光増幅器PAMの入出力部のチルト量を示している。図14は各光増幅器PAMが雑音指数特性優先のためスロープ補正を行っておらず、ノードB、EのラマンアンプRAMのみが平坦化制御(Feed Back制御)を行った場合における各光増幅器PAMの入出力部のチルト量を示している。図13、図14いずれの場合も、各光増幅器の入力部スペクトルは平坦にはならず、受信端 52で大きなチャネル間偏差(チルト)がついてしまっている。

このような場合、例えば送信端あるいは受信端に設けられ外部制御装置が、①監視制御信号より全システムの中での、各ノードにおけるラマンアンプの有無及びラマンアンプ間の距離情報を取得し、②これらの情報より各ラマンアンプから次のラマンアンプが存在するノードあるいは受信端までに生じる伝送路の総チルト量を計算し、③そのチルト量を補償するスロープ補正量を求めてラマンアンプに指示し、スロープ補正する方法が有効である。

#### 【0 0 3 9】

##### (a) 第3実施例

図15は外部制御装置を有する第3実施例の光多重通信システムの構成図であり、送信端51(ノードA)と受信端52(ノードG)間に、中継局として機能するノードB～ノードFが設けられている。各ノードは図10に示すように所定の波長光で監視制御信号を送受信できるようになっており、ラマンアンプの有無や次のラマンアンプまでの距離情報を監視制御信号を用いて送信するようになっている。外部制御装置53は例えば上りリンクを介して送られてくる監視制御信号を受信し、下りリンクを介して各種指示を監視制御信号に載せて各ノードに指示できるようになっている。外部制御装置53は処理部53a、入力部53b、表示部53cなどを備えている、

#### 【0 0 4 0】

図16は光増幅器のスロープ補正量を0とした場合において、各ラマンアンプのスロープ補正量を決定する処理フローである。尚、各ラマンアンプは既に自分の所属するスパンのチルトを補正しているものとする。

外部制御装置53は各スパンの伝送距離、損失の波長依存特性、ラマンアンプの

有無等の情報を監視制御信号より取得し(ステップ3001)、これら情報を用いて各光増幅器の入力部でのチルト量(dBpp)を計算する(ステップ3002)。

ついで、外部制御装置53は各光増幅器PAMの入力部における波長特性のチルト量を加算する(ステップ3003)。

各光増幅器PAMの入力部のチルト量が求めれば、求めたチルトの総量を、チルトを補償するラマンアンプの下流側に存在する光増幅器の入力部の個数で割る(ステップ3004)。そして、計算された値の符号を反転し、スロープ補正量として、もともとのラマンアンプでのスロープ補正量に足しこみ、トータルのスロープ補正量を計算し(ステップ3005)、監視制御信号で着目しているラマンアンプが存在するノードに通知する(ステップ3006)。

#### 【0 0 4 1】

図13に示すようにノードB、ノードEにスロープ補正機能を備えたラマンアンプRAMが設けられている場合において上記処理を具体的に説明する。なお、各スパンにおける波長特性のチルトは+adBppであるとし、又、各ラマンアンプRAMには当初 -adBppのスロープ補正を行うように設定してあるものとする。

1) 各光増幅器PAMの入力部でのチルト量は、それぞれ以下のようにになっている(ノードAは常にチルト量は0になっていることを仮定しており、計算には含まない)。

B: 0dBpp、C: +adBpp、D: +2adBpp、E: +2adBpp、F: +3adBpp、G: +4dBpp

2) ノードB-Fの総チルト量は、 $0+a+2a+2a+3a+4a=12adBpp$

3) ノードBのラマンアンプRAMの下流側の光増幅器PAMの入力部の数は6箇所。この数で12adBppを割ると、2adBpp。

4) ノードBのラマンアンプのスロープ補正量は-adBppであり、この値に-2aを加算して、-3adBppを得る。この-3adBppがノードBのラマンアンプのスロープ補正量である。外部制御装置53は上記によりノードBのラマンアンプのスロープ補正量を計算し、監視制御信号によりノードBに通知する。これにより、ノードBの監視制御部MNTはラマンアンプRAMに-3adBppのスロープ補正を掛けるよう指示する。この結果、各光増幅器の入出力部のチルト特性は図17に示すようになり、受信端52のチルトは図13に比べてかなり軽減する。

## 【0042】

各光増幅器入力部のスペクトルにはチルトが残っているが、各チャネルの入力レベルの長手方向平均値は全て等しくなっており(0dBpp)、光SNR的にも平均化されている。この方法は、チャネル毎の光プリアンファシス制御を行う前に、スロープ成分のみを考えてラマンアンプがプリアンファシス制御を行うことを意味している。

## 【0043】

## (b) 変形例

第3実施例の方法は、システム中のどのラマンアンプに対しても適用することができ、ノードEのラマンアンプRAMのスロープ補正量を決定することができる。この場合、上記3)において、割る数は下流側入力部数であり、3である。

また、第3実施例の方法は、各光増幅器のスロープ補正量が0ではなく、一定の量は補正が出来ており、不足が生じている場合にも適用できる。すなわち、各光増幅器の入力部のチルト量を計算する際に、上流側の光増幅器でのスロープ補正量の分を減算してチルト量を計算すればよい。

## 【0044】

また、上記1)、2)の値は、各ノードの入力部または出力部にスペクトラムアナライザを有していれば、計算でなく直接測定された各チャネルの光パワーレベルからスロープ量を近似して求めることも可能である。

更に、スペクトラムアナライザが全てのノードにない場合でも、直近のスペクトラムアナライザの有るノードでの光パワーレベルからスペクトラムアナライザのないノードのスペクトルを予想、近似することにより、スロープ量を求めることも可能である。例えば、第1、第2ノードにおける波長 $\lambda$ におけるスペクトルを $s_1$ ,  $s_2$ 、その間の距離を $D$ 、第1、第2ノード間の第3ノードと第1ノード間の距離を $d$ とすれば、第3ノードの波長 $\lambda$ のスペクトル $s_3$ は補間演算により次式

$$s_3 = s_1 + d(s_2 - s_1)/D \quad (1)$$

により求めることができる。

## 【0045】

また、第3実施例の方法は一箇所のラマンアンプのみで補償することを前提と

しているが、補償しきれない場合も出てくる可能性が有る。この様な場合は、システム中のほかのラマンアンプにスロープ補正量を分散させることが出来る。

#### 【0046】

上記処理は、各光増幅器のスロープ補正量が0でない場合にも適用できる。スロープ補正量が0でない場合、ラマンアンプと同一ノードの光増幅器の入力部におけるチルト量は、各光増幅器のスロープ補正量が0としたときの総チルト量から各光増幅器でのスロープ補正量の分を減算したチルト量となる。

また、第3実施例ではラマンアンプがスロープ補正機能だけを有している場合であるが、ラマンアンプにスロープ補正機能に加えて平坦化制御機能(図27参照)を持たせることもできる。平坦化制御機能を有するラマンアンプが存在するノードでは、光増幅器の入力部のチルト量をスペクトラムアナライザSPAで測定、計算することが可能であり、該ノードの監視制御部はこの測定したチルト量を監視制御信号で外部制御装置53に通知する。

#### 【0047】

(C) 光増幅器、ラマンアンプ共にスロープ補正量に制限がある場合

以上では、システム中のラマンアンプのみでスロープ補正量の不足を補う方式について提案したが、ラマンアンプに補正の制限があって補償しきれない場合や、逆に光増幅器にスロープ補正を行う余裕がある場合も考えられる。かかる場合における制御方式の最も一般的な形として、光増幅器、ラマンアンプ共にスロープ補正を行う場合で、かつ、共にスロープ補正量に制限を持っている場合である。第4実施例はかかる場合において光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量を決定してチルトを平坦化する。

#### 【0048】

(a) 第4実施例

第4実施例においても波長多重光通信システムは図15の構成を有している。図18は第4実施例の光増幅器及びラマンアンプのスロープ補正量決定処理フローである。

外部制御装置53は、監視制御信号を用いて各スパンの伝送距離、損失の波長依存特性、光増幅器のスロープ補正量、ラマンアンプのスロープ補正量等の情報を



取得し(ステップ4001)、取得情報から各光増幅器の入力部でのチルト量(dBpp)を計算する(ステップ4002)。ついで、計算されたチルトの総量を算出し(ステップ4003)、該チルトの総量を上流側から下流側にある光増幅器及びラマンアンプの入力部の個数で割る(ステップ4004)。

#### 【0 0 4 9】

ステップ4004で計算された値の符号を反転し、スロープ補正量として、上流側の光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量に足しこむ(ステップ4005)。

該スロープ補正量が光増幅器あるいはラマンアンプの能力を超えたかチェックし(ステップ4006)、越えなければ、全光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量の決定が完了したかチェックし(ステップ4007)、完了してなければステップ4005に飛んで光増幅器、ラマンアンプにスロープ補正量を継続して割り当てる。

一方、ステップ4006において、スロープ補正量が所定光増幅器あるいはラマンアンプの制限補正量を越えれば、該光増幅器あるいはラマンアンプのスロープ補正量をその制限値(可能なスロープ補正量)で固定し(ステップ4008)、以後、スロープ補正の対象を一つ下流側の光増幅器またはラマンアンプに移して、ステップ4002以降の制御を繰り返す。

#### 【0 0 5 0】

本制御の例を図19に従って説明する。ただし、図19において、光増幅器、ラマンアンプは下記の制限を持っている。

- ・ ノードAの光増幅器は、必要なチルト制御量-adBppに対して、-0.5adBppに制限されている
- ・ ノードCのラマンアンプは、必要なチルト制御量-adBppに対して、-0.5adBppに制限されている
- ・ ノードEの光増幅器は、必要なチルト制御量-adBppに対して、0dBppに制限されている。
- ・ ノードBの光増幅器は、可能なチルト制御量が-0.5adBまでに制限されている。
- ・ ノードCの光増幅器は、可能なチルト制御量が-1.5adBまでに制限されている。

## 【0051】

図19の波長特性で示すように、各光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量の制限により、各光増幅器への入力部は平坦にはなっておらず、受信端でも偏差を持ったままとなっている。これに対して、以下の制御を行う。なお、ラマンアンプには制限一杯のスロープ補正を掛けているため、以下の制御ではラマンアンプを考慮する必要がない。

1)各ノードのチルト量は以下のように計算される。

ノードB: 0.5adBpp、ノードC: adBpp、ノードD: adBpp、ノードE: adBpp、  
ノードF: 2adBpp、ノードG: 2adBpp

2)チルト量を加算する。7.5adBppとなる。

3)ノードAの光増幅器は既に限界量になっているため、ノードBの光増幅器での補償を考える。ノードBの光増幅器以降の光増幅器入力部の個数は5であるため、2)の値を5で割ると、-1.5dBppとなる。しかし、Bの光増幅器のスロープ補正量は-0.5adBppで制限されているため、-0.5dBppまでで固定し、チルト補正の対象をCの光増幅器に移す。

4)この時点で、再度各光増幅器のチルト量を計算する。

ノードB: 0.5adBpp、ノードC: 0.5adBpp、ノードD: 0.5adBpp、ノードE: 0.5adBpp、ノードF: 1.5adBpp、ノードG: 1.5adBpp

5)チルト量を加算する。5adBppとなる。

6)ノードCの光増幅器以降の光増幅器入力部の個数は4であるため、5)の値を4で割ると、-1.25adBとなる。しかし、ノードCの光増幅器のスロープ補正量は-1.5adBppで制限されており、既に-adBppのスロープ補正をかけているため、トータルで-2.25dBppのスロープ補正は不可能になる。よって、ノードCの光増幅器のスロープ補正量を-1.5dBppで固定し、チルト補正の対象をノードDの光増幅器に移す。

7)この時点で、再度各光増幅器のチルト量を計算する。

ノードB: 0.5adBpp、ノードC: 0.5adBpp、ノードD: 0dBpp、ノードE: 0dBpp、

ノードF: adBpp、ノードG: adBpp

8) チルト量を加算する。3adBppとなる。

9) ノードDの光増幅器以降の光増幅器入力部の個数は3であるため、8)の値を3で割ると、-adBとなる。ノードDの光増幅器は元々スロープ補正量0dBであり、制限がないため、-adBのスロープ補償は可能である。この時点でスロープ補正制御は終了する。

スロープ補正制御終了時点での波長スペクトル特性図を図20に示すようになる。各光増幅器入力部のチルト量を計算すると以下ようになる。

ノードB: 0.5adBpp、ノードC: 0.5adBpp、ノードD: 0dBpp、ノードE: -adBpp、

ノードF: 0dBpp、ノードG: 0dBpp

それぞれの入力部のチルト量を加算すると、 $0.5a+0.5a+0-a+0+0=0\text{dBpp}$ となり、各光増幅器への入力レベルが平均化され、光SNR特性も平均化されていることが分かる。本方式を用いることによって、光プリアンファシス制御を行う前に、出来る限り光プリアンファシス量に負担をかけず、光SNR的に最適な状態にすることが可能になる。

#### 【0 0 5 2】

上の例は、各伝送路の距離が全て同じパターンで考えたが、各伝送路距離が異なる(伝送路毎のチルト量が異なる)場合でも適用できる。

また、第4実施例ではラマンアンプがスロープ補正機能だけを有している場合であるが、ラマンアンプにスロープ補正機能に加えて平坦化制御機能(図27参照)を持たせることもできる。平坦化制御機能を有するラマンアンプが存在するノードでは、光増幅器の入力部のチルト量をスペクトラムアナライザSPAで測定、計算することが可能であり、該ノードの監視制御部はこの測定したチルト量を監視制御信号で外部制御装置53に通知する。スロープ補正機能に加えて平坦化制御機能を持たせることもできる。

#### 【0 0 5 3】

また、スペクトラムアナライザが全てのノードにない場合でも、直近のスペクトラムアナライザの有るノードでの光パワーレベルからスペクトラムアナライザのないノードのスペクトルを(1)式を用いて補間演算により求めることも可能で

ある。

以上では、光増幅器、ラマンアンプを用いてスロープ補正を行ったが、チルトの補正を、光増幅器やラマンアンプのみではなく、利得等化器などのデバイスを挿入して行うこともできる。図21は利得等化器の構成図である。波長分離部81は光伝送路より入力するWDM信号を波長毎に分離し、可変アッテネータ82a～82dは制御部83の制御で各波長光のスペクトルが平坦になるように利得制御し、波長多重部84は各可変アッテネータから出力する波長光を多重して光伝送路に送出する。従って、利得等化器を光伝送路に挿入し、チルト=0となるように外部制御装置より制御部83に各波長の利得を指示し、制御部83が各可変アッテネータの利得を制御して波長特性のチルト=0とすることができる。

#### 【0054】

##### ・付記

(付記1) 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、

光増幅器と同一ノードであって該光増幅器が存在するリンクと対向するリンクにおけるラマンアンプの使用状況、あるいは、前記光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得する手段、

該ラマンアンプの使用状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段、

を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

(付記2) 前記ラマンアンプの使用状況取得手段は、

主信号光から監視制御信号光を分離する手段、

前記光増幅器と対向するリンクにおける監視制御信号光より該光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得する手段、

を有することを特徴とする付記1記載の波長多重光通信システム。

(付記3) 主信号光と共に各ノードにおいて送受信される監視制御信号に基づいて各ノードでのラマンアンプの使用状況を把握する外部制御装置を備え

前記ラマンアンプの使用状況取得手段は、該外部制御装置より該光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得する、

ことを特徴とする付記1記載の波長多重光通信システム。

(付記4) 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

光増幅器に設けられ前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正する手段、

前記光増幅器の下流側のノードにおいてラマンアンプが、該ラマンアンプに接続された光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性に基づいて該波長特性の平坦化制御を行っているかの実施状況を取得する手段、

該ラマンアンプにおける平坦化制御の実施状況に基づいて前記光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する手段、

を有することを特徴とする波長多重光通信システム。

(付記5) 前記ラマンアンプに接続された光増幅器の入力側あるいは出力側の波長特性を検出するスペクトルアナライザ、

ラマンアンプに設けられ、前記スペクトルアナライザを用いて検出した波長特性に基づいて平坦化制御を行なう手段、

を備えたことを特徴とする付記4記載の波長多重光通信システム。

(付記6) 前記ラマンアンプの実施状況取得手段は、

主信号光から監視制御信号光を分離する手段、

前記光増幅器と対向するリンクにおける監視制御信号光より前記光増幅器の下流側のノードにおける平坦化制御の実施状況を取得する手段、

を有することを特徴とする付記4記載の波長多重光通信システム。

(付記7) 主信号光と共に各ノードにおいて送受信される監視制御信号に基づいて各ノードでのラマンアンプの平坦化制御実施状況を把握する外部制御装置を備え、前記実施状況取得手段は、該外部制御装置よりラマンアンプの平坦化制御の実施状況を取得する、

ことを特徴とする付記4記載の波長多重光通信システム。

(付記8) 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

ラマンアンプに設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、

前記ラマンアンプから受信端のノードまでに生じる伝送路の波長特性のチルト量に基づいてスロープ補正量を算出する手段、

該スロープ補正量を前記ラマンアンプのスロープ補正制御手段に設定する手段

を備え、ラマンアンプのみでスロープ補正を行うことを特徴とする波長多重光通信システム。

(付記9) 前記スロープ補正制御手段は、各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算し、該チルト量から必要なスロープ補正量を算出する

ことを特徴とする付記8記載の波長多重光通信システム。

(付記10) 各光増幅器の入力部における波長特性を検出するスペクトルアナライザを設け、前記スロープ補正制御手段は、該スペクトルアナライザによる検出結果に基づいて各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算し、該チルト量から必要なスロープ補正量を算出する、

ことを特徴とする付記8記載の波長多重光通信システム。

(付記11) スペクトルアナライザが存在しない光増幅器の入力部における波長特性を、スペクトルアナライザが存在する光増幅器の入力部における波長特性を用いて補間により算出する、

ことを特徴とする付記10記載の波長多重光通信システム。

(付記12) 光増幅器の入力部における波長特性を検出するスペクトルアナライザ、

ラマンアンプに設けられ、前記スペクトルアナライザにより検出された波長特性を平坦化する平坦化制御部、

を備え、スロープ補正制御による補正量に平坦化制御による補正量を加算してスロープ補正する、

ことを特徴とする付記 8 記載の波長多重光通信システム。

(付記13) 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

ラマンアンプに設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、

前記ラマンアンプから受信端のノードまでの間に生じる波長特性の総チルト量からその間に存在する光増幅器のスロープ補正量を減算してラマンアンプのスロープ補正量を算出し、該ラマンアンプの前記スロープ補正制御手段に設定する手段、

を備え、ラマンアンプは設定されたスロープ補正量に基づいてスロープ補正を行うことを特徴とする波長多重光通信システム。

(付記14) 光損失媒質と該光損失媒質における損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、

スロープ補正量が制限された光増幅器及びラマンアンプにそれぞれ設けられ、前記光損失媒質の損失波長依存性によって発生する波長特性のスロープを補正するスロープ補正制御手段、


各ノード間の光損失媒質の損失波長依存性の情報と、各光増幅器、ラマンアンプのスロープ補正量を取得し、これらより各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算し、該チルト量を用いて上流側から順に光損失補償器のスロープ補正量を決定し、該スロープ補正量が光損失補償器の能力を超えたとき下流側のノードを対象にして上記制御を繰り返して各光損失補償のスロープ補正量を決定して設定する手段、

を備え、光損失補償器は設定されたスロープ補正量を用いてスロープ補正することを特徴とするにおける波長多重光通信システム。

(付記15) 光増幅器の入力部の波長特性を検出するスペクトルアナライザ、

ラマンアンプに設けられ、前記スペクトルアナライザにより検出された波長特性を平坦化する平坦化制御部、

を備え、スロープ補正制御による補正量に平坦化制御による補正量を加算して



スロープ補正する、

ことを特徴とする付記14記載の波長多重光通信システム。

(付記16) 各光増幅器の入力部における波長特性を検出するスペクトルアナライザを設け、該スペクトルアナライザによる検出結果に基づいて各光増幅器の入力部における波長特性のチルト量を計算する、

ことを特徴とする付記14記載の波長多重光通信システム。

(付記17) スペクトルアナライザが存在しない光増幅器の入力部における波長特性を、スペクトルアナライザが存在する光増幅器の入力部における波長特性を用いて補間により算出する、

ことを特徴とする付記16記載の波長多重光通信システム。

(付記18) 計算されたチルト量の補正を、光増幅器やラマンアンプのみではなく、利得等化器などのデバイスを挿入することでスロープ補正を行う、

ことを特徴とした付記14記載の波長多重光通信システム。

## 【0055】

### 【発明の効果】

以上本発明の波長多重光通信システムによれば、ノード間で光増幅器とラマンアンプの一方のみでスロープ補正すれば良い場合、他方のリンクにおけるラマンアンプの存在の有無に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができる。又、上り、下りのスパン距離やファイバ種が異なる場合には、光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができる。この結果、過補償になることはなく、しかも、スロープ補正する光増幅器の数を減少することができる。また、下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況は監視制御信号光を用いて、あるいは、外部制御装置を使用して識別することができる。

## 【0056】

また、本発明の波長多重光通信システムによれば、ラマンアンプが平坦化制御を行う場合にも、光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの平坦化制御実施状況に応じて光増幅器にチルト補償を行わせることができ、この結果、過補償になることはなく、しかも、スロープ補正する光増幅器の数を減少することがで



きる。また、下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況は監視制御信号光を用いて、あるいは、外部制御装置を使用して識別することができる。

また、本発明の波長多重光通信システムによれば、ラマンアンプのみでスロープ補正を行うことができ、しかも、光増幅器によるスロープ補正をする必要がないため、光SNRの劣化を防止することができる。

#### 【0057】

また、本発明の波長多重光通信システムによれば、光増幅器のスロープ補正量に制限がある場合であっても、ラマンアンプでその不足分を補ってスロープ補償することができる。

また、本発明の波長多重光通信システムによれば、光増幅器及びラマンアンプのスロープ補正量が制限されている場合であっても、制限された補正量範囲で最適な補正量を光増幅器及びラマンアンプに設定することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

光増幅器でのスロープ補正説明図である。

##### 【図2】

ラマンアンプでのスロープ補正説明図である。

##### 【図3】

ラマンアンプの平坦化制御の説明図である。

##### 【図4】

スロープ補正しないシステムでのチルトの累積説明図である。

##### 【図5】

スロープ補正を行ったシステムのスペクトル説明図である。

##### 【図6】

光増幅器、ラマンアンプ共にスロープ補正を行った場合のスペクトル説明図である。

##### 【図7】

対向側のラマンアンプの挿入状況を見てスロープ補正の有無を決定する第1実施例の波長多重光通信システムの構成図である。

**【図 8】**

第1実施例の監視制御部の処理フローである。

**【図 9】**

第 2 実施例の波長多重光通信システムの構成図である。

**【図 1 0】**

監視制御信号の送受信説明図である。

**【図 1 1】**

第2実施例の監視制御部の処理フローである。

**【図 1 2】**

第2実施例の変形例の監視制御部の処理フローである。

**【図 1 3】**

ラマンアンプのみスロープ補正する場合のスペクトル説明図である。

**【図 1 4】**

ラマンアンプのみ平坦化制御する場合のスペクトル説明図である。

**【図 1 5】**

外部制御装置を有する第3実施例の光多重通信システムの構成図である。

**【図 1 6】**

光増幅器のスロープ補正量を0とした場合において、各ラマンアンプのスロープ補正量を決定する処理フローである。

**【図 1 7】**

第3実施例のスペクトル説明図である。

**【図 1 8】**

第4実施例の光増幅器及びラマンアンプのスロープ補正量決定処理フローである。

**【図 1 9】**

光増幅器及びラマンアンプに制限がある場合のスペクトル図（スロープ補正量決定前）である。

**【図 2 0】**

光増幅器及びラマンアンプに制限がある場合のスペクトル図（スロープ補正量

決定後)である。

【図 2 1】

利得等化器の構成図である。

【図 2 2】

光プリアンファシス制御の説明図である。

【図 2 3】

スロープ補正機能を備えた光増幅装置の構成図である。

【図 2 4】

励起波長と利得の関係図(その1)である。

【図 2 5】

励起波長と利得の関係図(その2)である。

【図 2 6】

ラマンアンプのスロープ制御の構成図である。

【図 2 7】

ラマンアンプの平坦化制御の構成図である。

【符号の説明】

5 1 送信端

5 2 受信端

5 3 EW側リンク(上りリンクとい)

5 4 WE側リンク(下りリンクという)

55a～55d 中継局

PAM 光増幅器

RAM ラマンアンプ

MNT 監視制御部

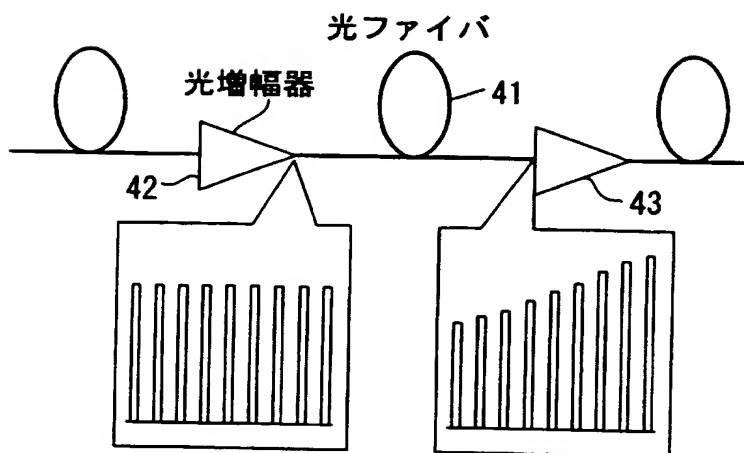
【書類名】

図面

【図 1】

光増幅器のスロープ補正説明図

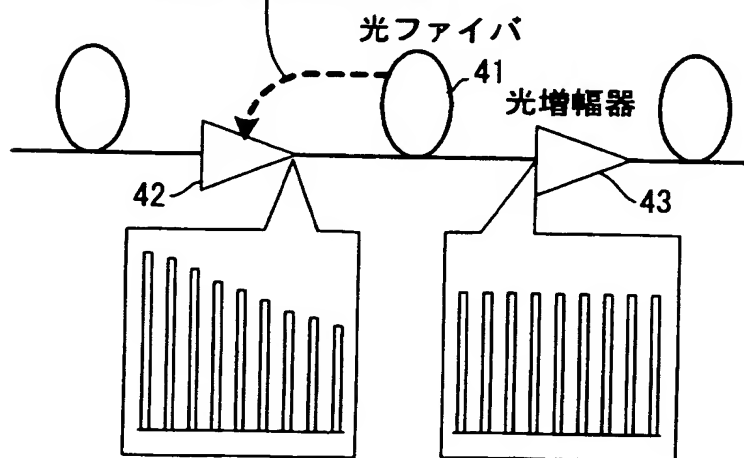
(A)



スロープ補正なしの場合

(B)

送付先の伝送路距離情報を取得

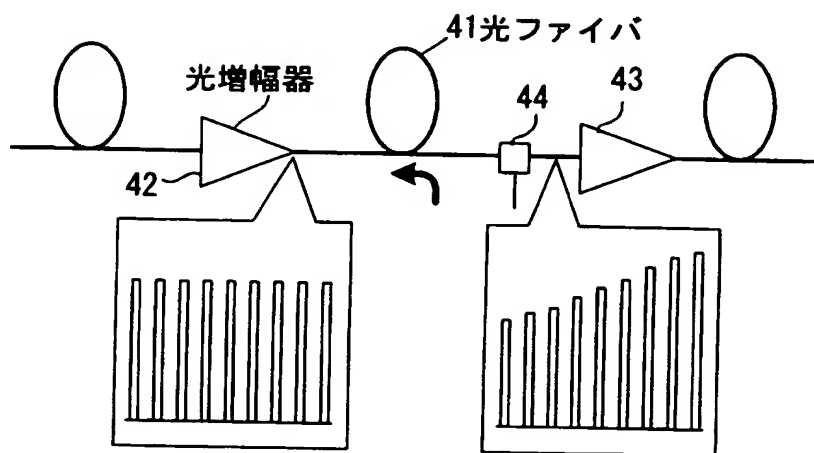


スロープ補正ありの場合

【図 2】

ラマンアンプのスロープ補正説明図

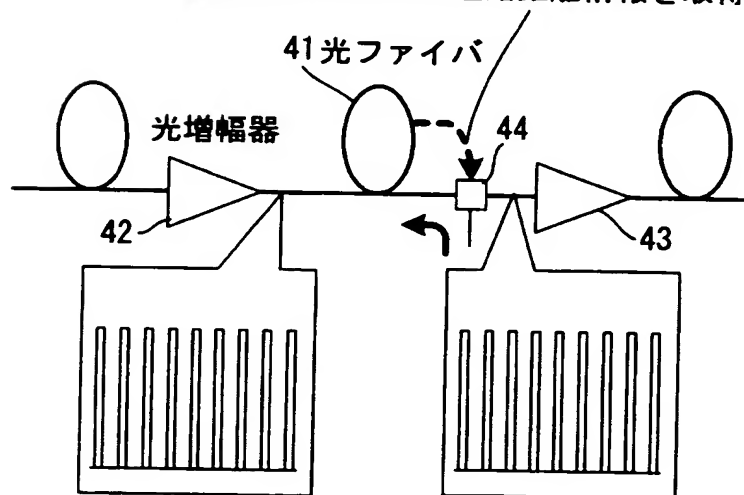
(A)



スロープ補正なしの場合

(B)

励起光出力先の伝送路距離情報を取得

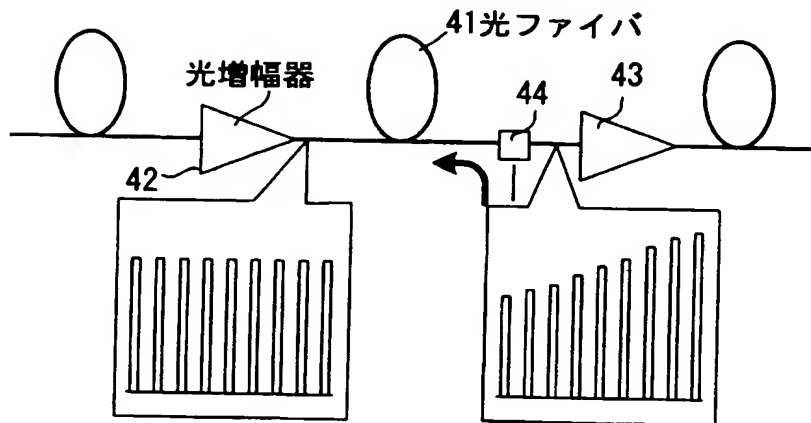


スロープ補正ありの場合

【図 3】

ラマンアンプの平坦化説明図

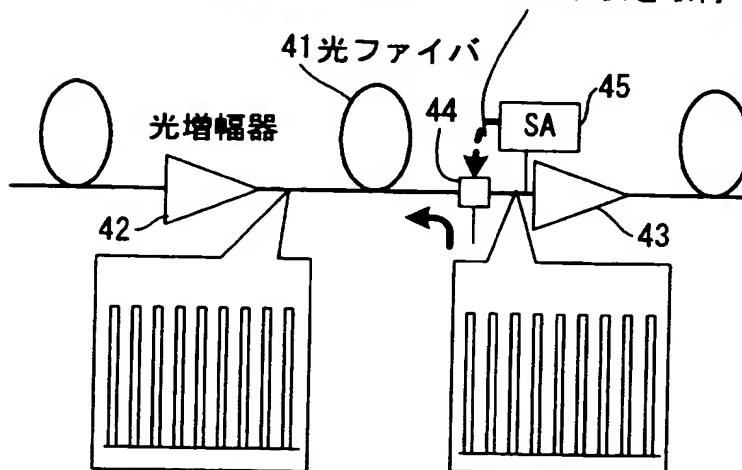
(A)



平坦化制御なしの場合

(B)

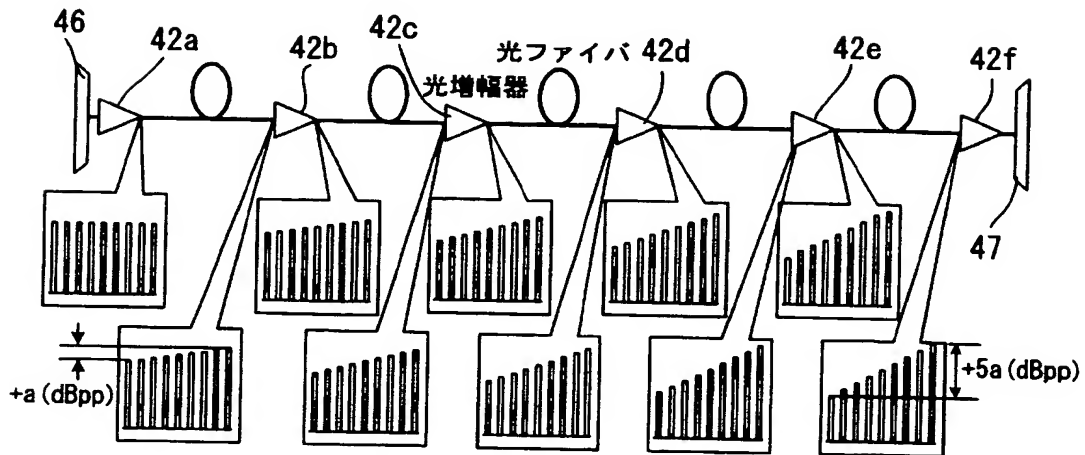
光増幅器入カスペクトル形状を取得



平坦化制御ありの場合

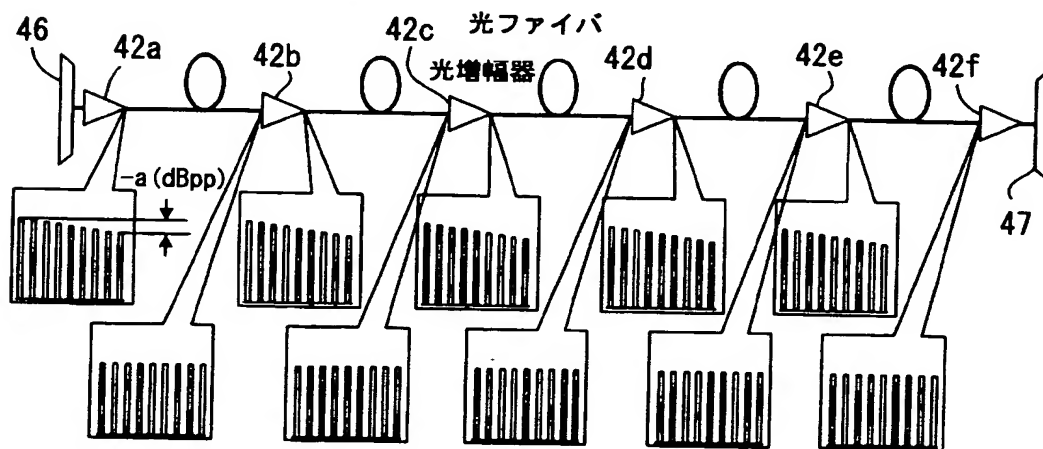
【図 4】

## スロープ補正を行わないシステムでのチルトの累積



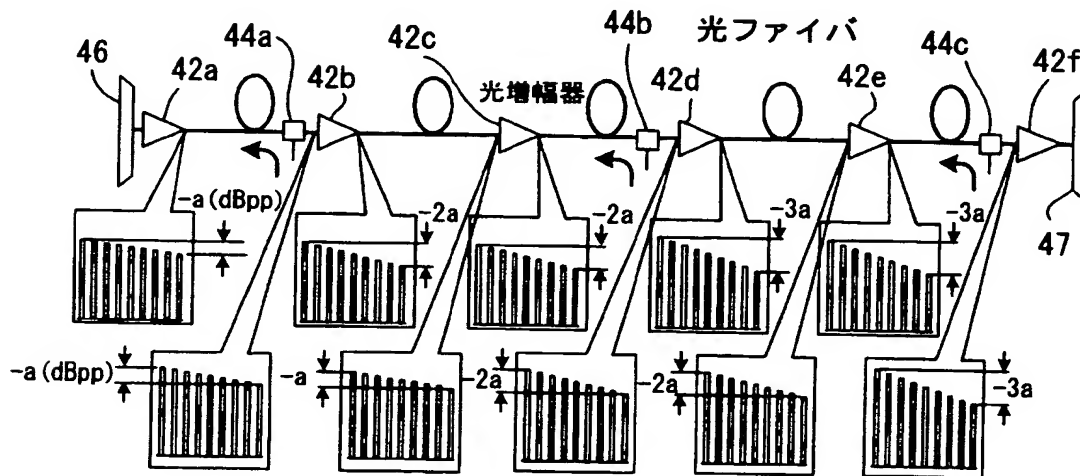
【図 5】

## スロープ補正を行ったシステムでのスペクトル



【図 6】

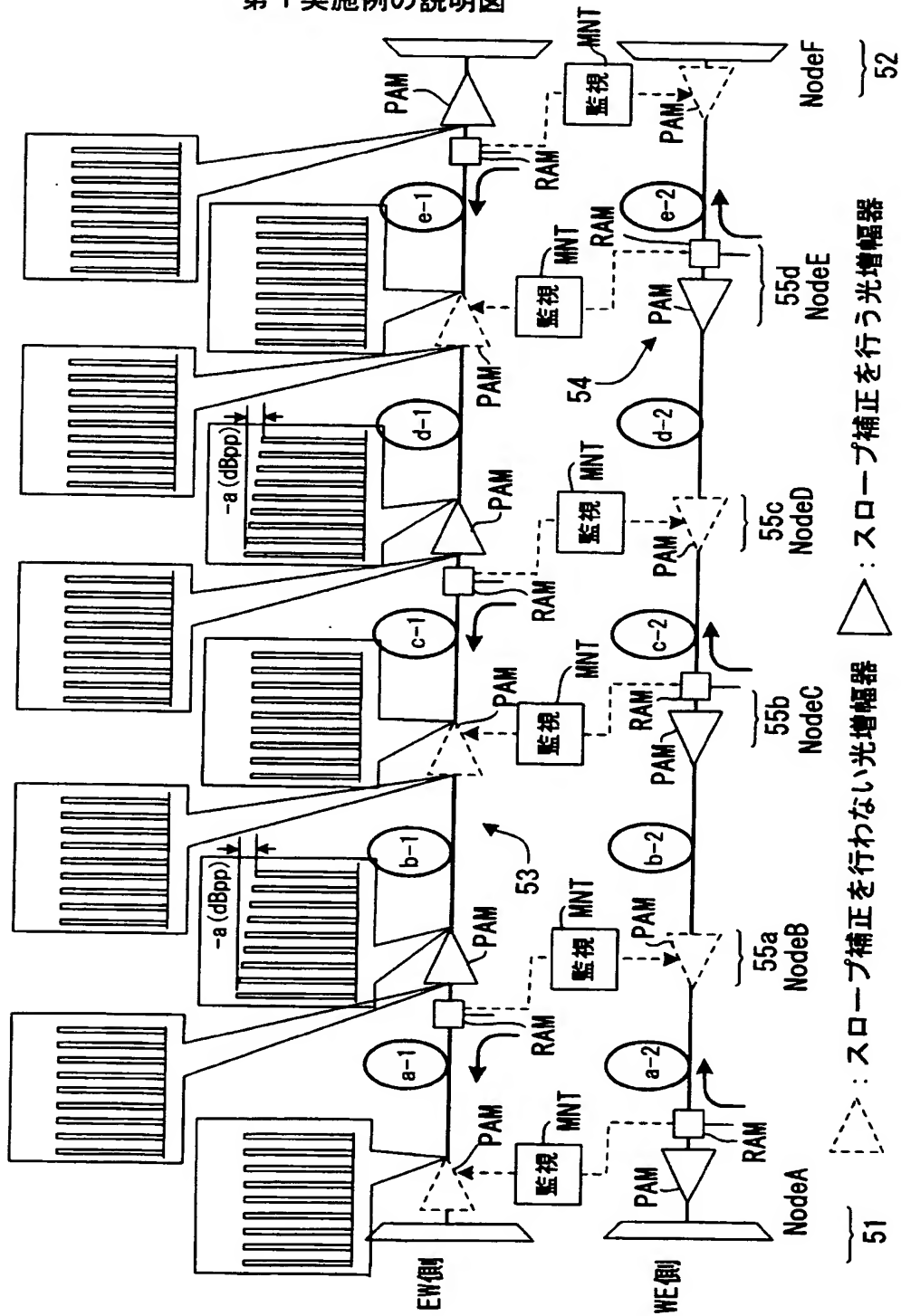
光増幅器、ラマンアンプ共にスロープ補正を行った場合のスペクトル





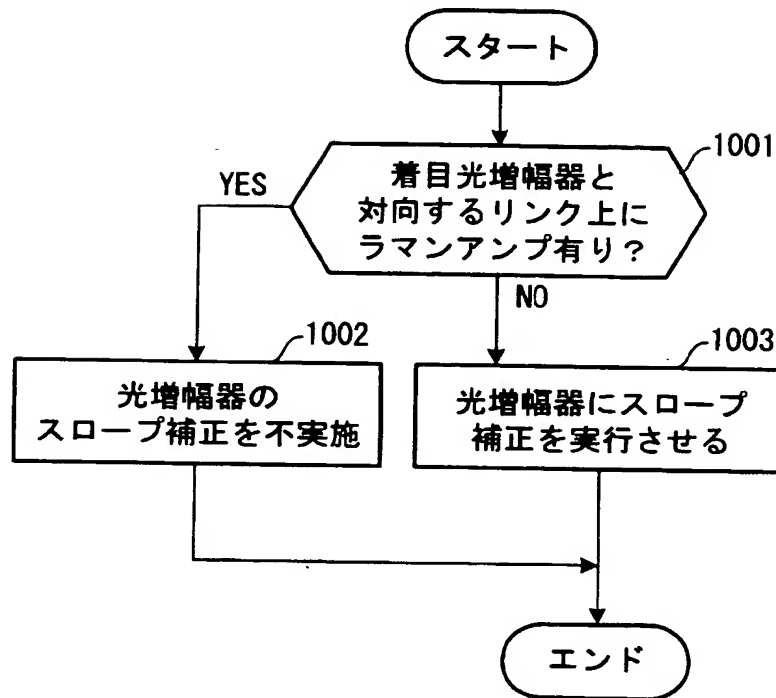
【図 7】

第 1 実施例の説明図



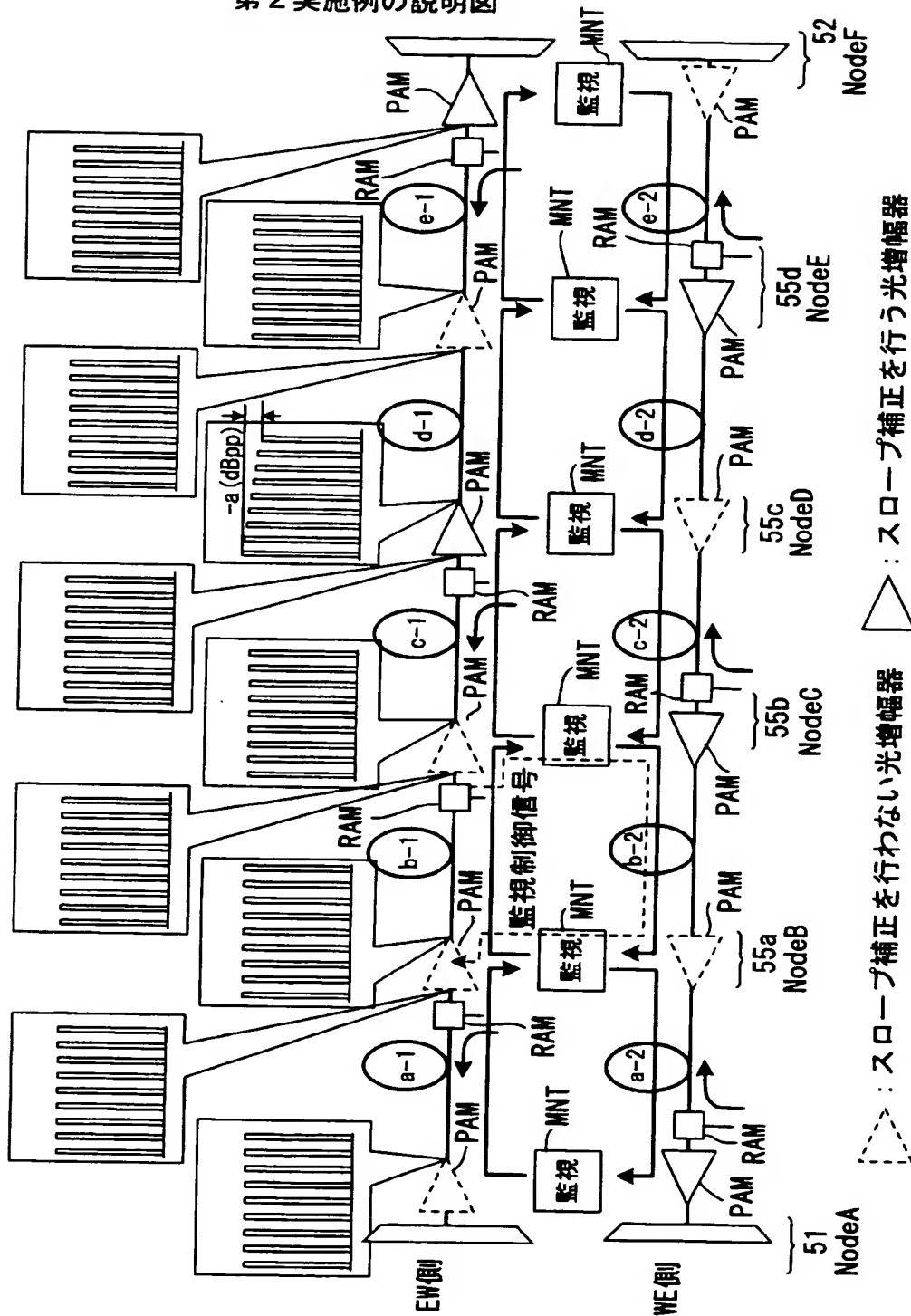
【図 8】

## 第 1 実施例の処理フロー



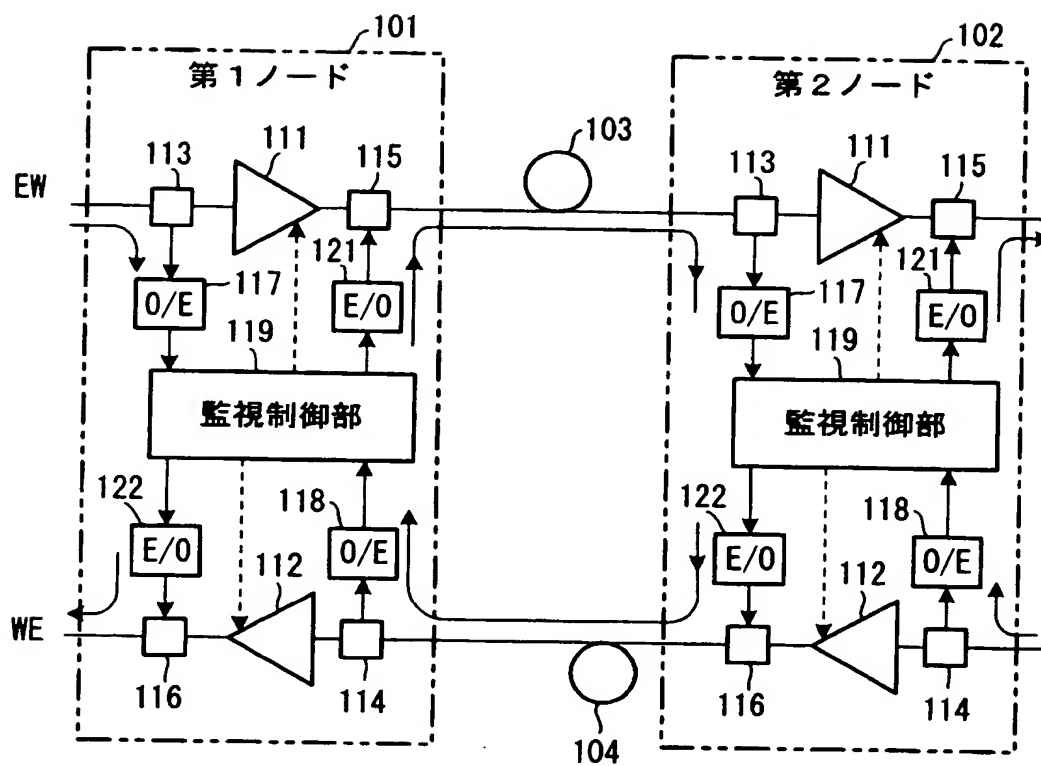
【図 9】

第 2 実施例の説明図



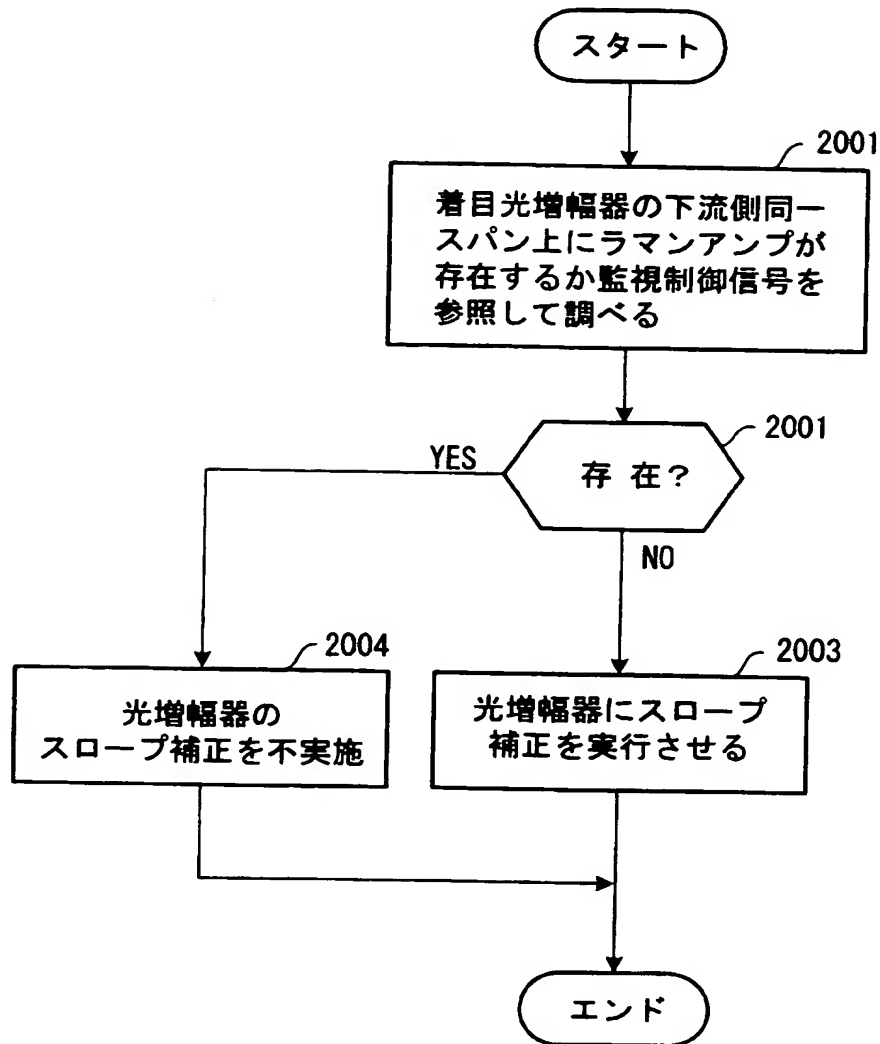
【図 10】

監視制御信号送受の説明図



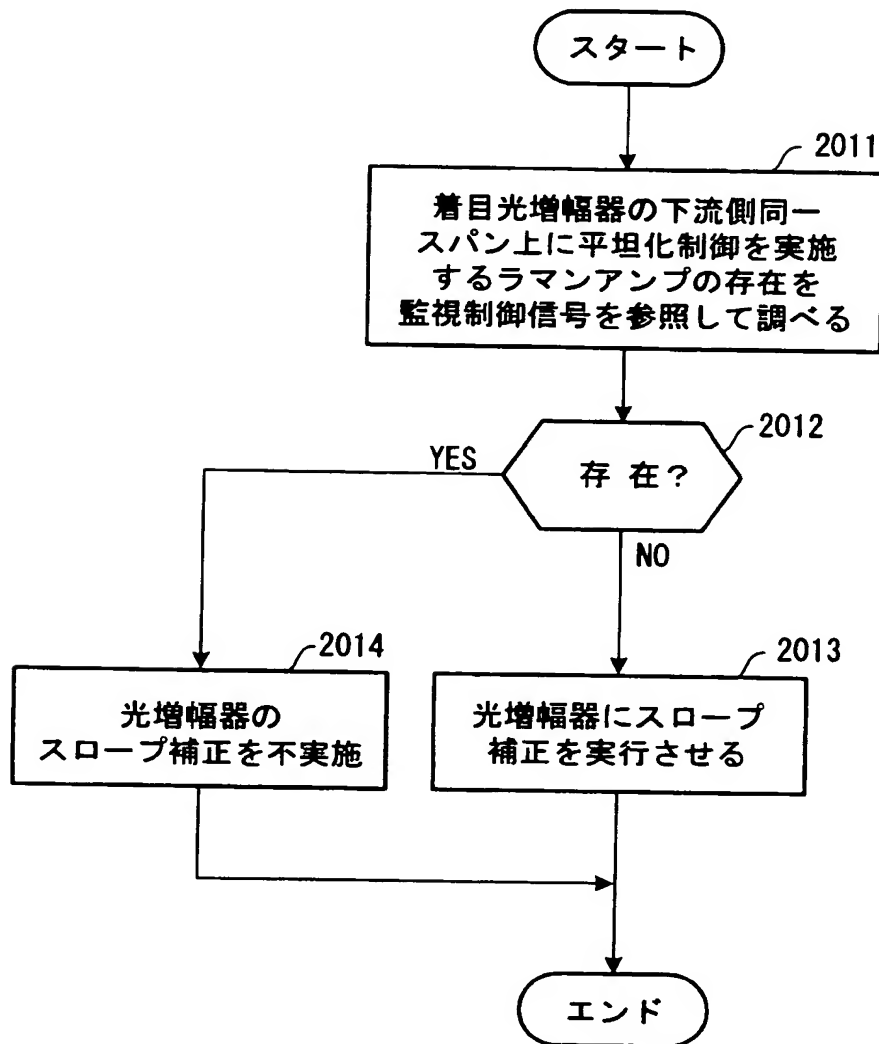
【図 11】

## 第2実施例の監視制御部の処理フロー



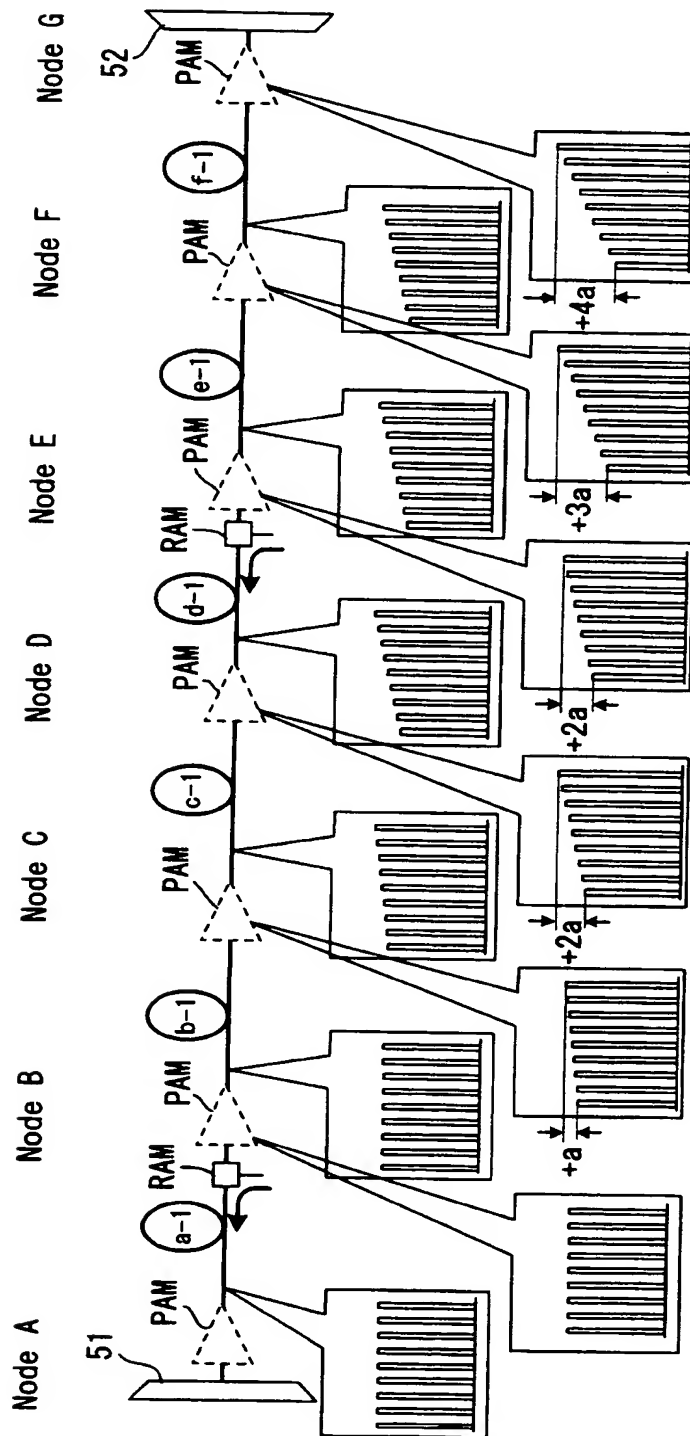
【図 12】

## 第2実施例の変形例の監視制御部の処理フロー



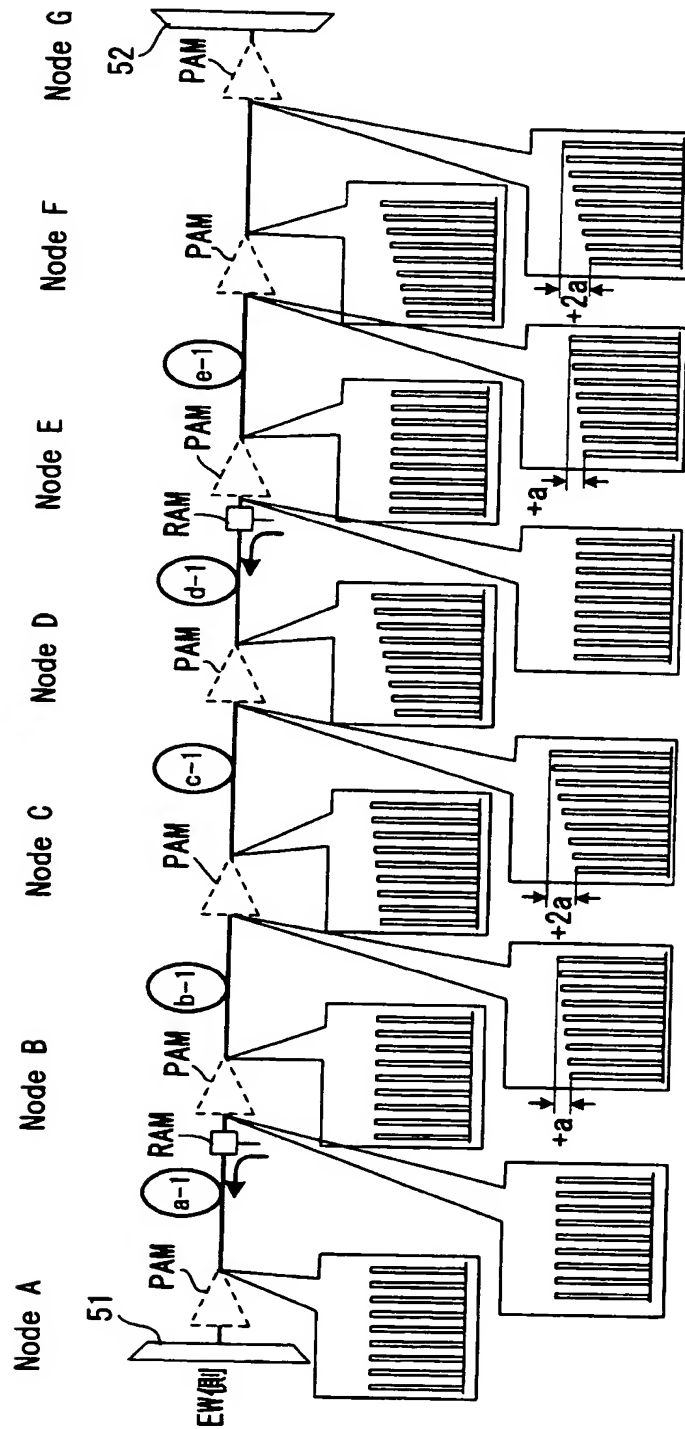
【図 13】

ラマンアンプのみスロープ補正を行った場合



【図 14】

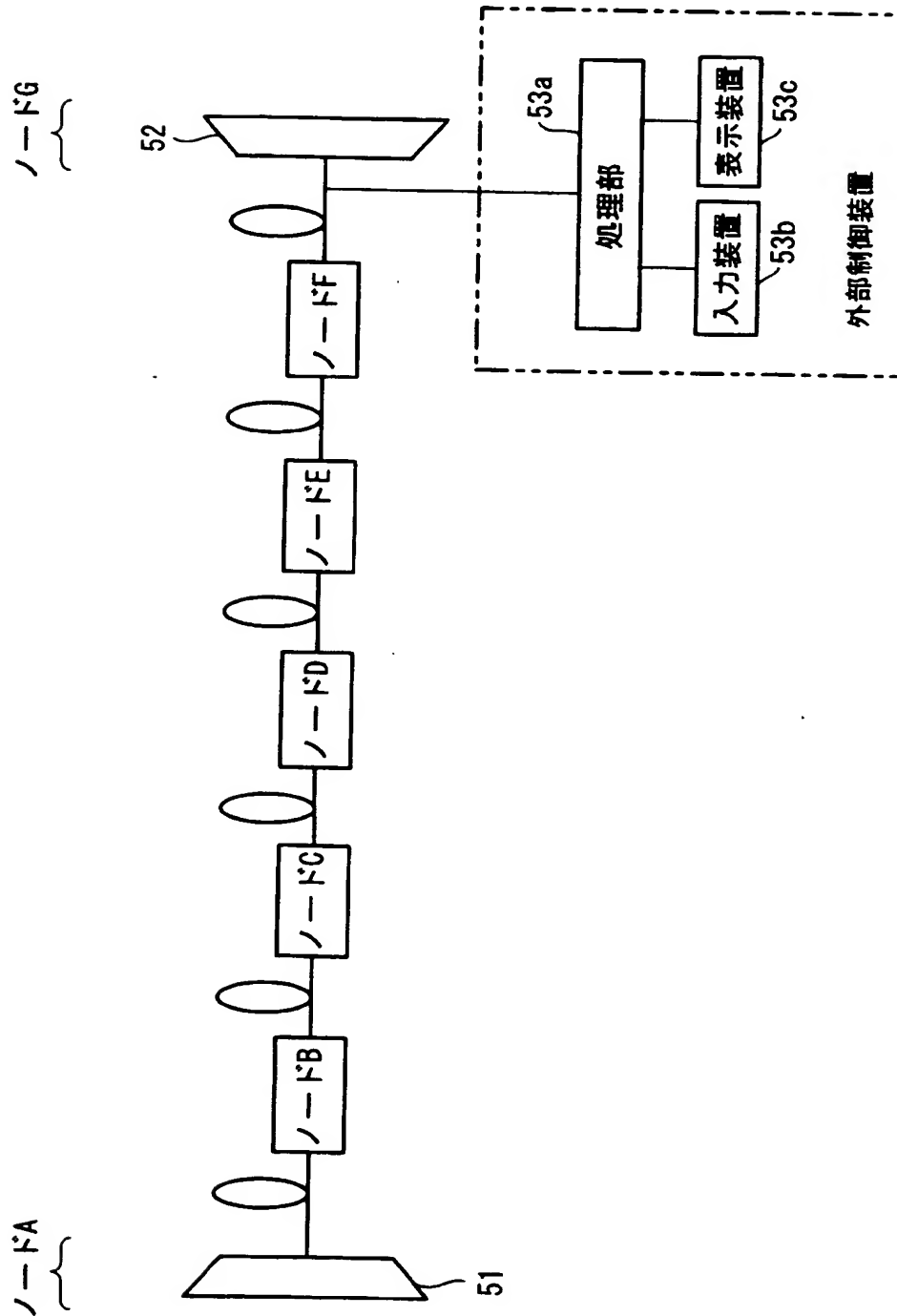
ラマンアンプのみ平坦化制御を行った場合





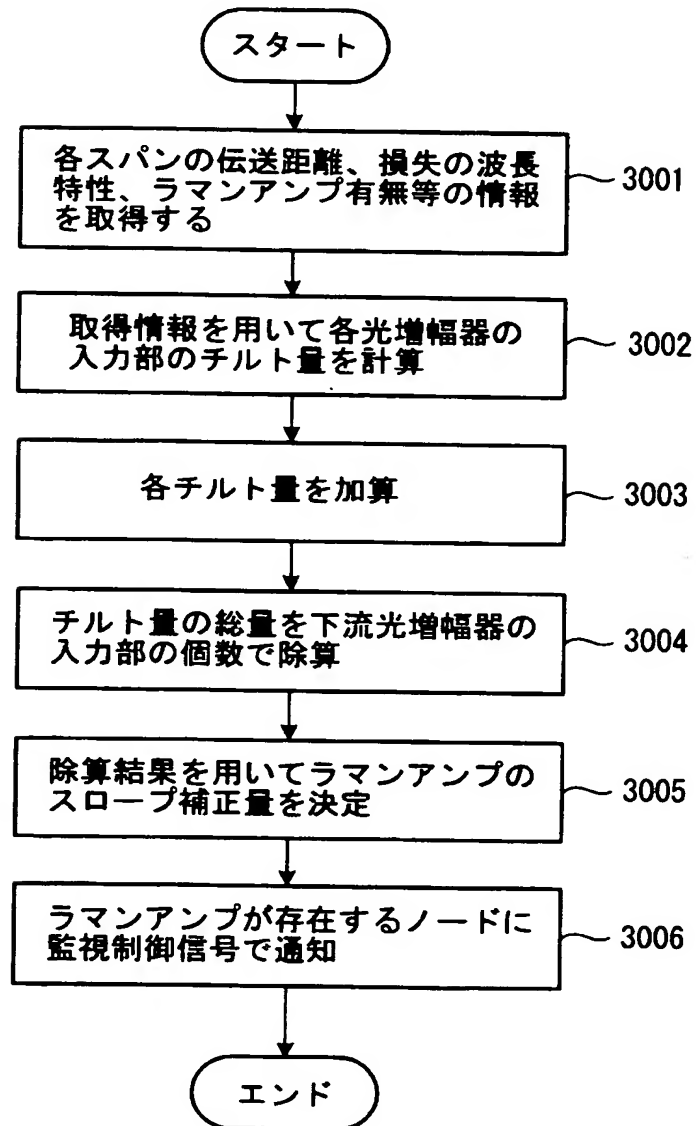
【図 15】

外部制御装置を備えた光多重通信システム

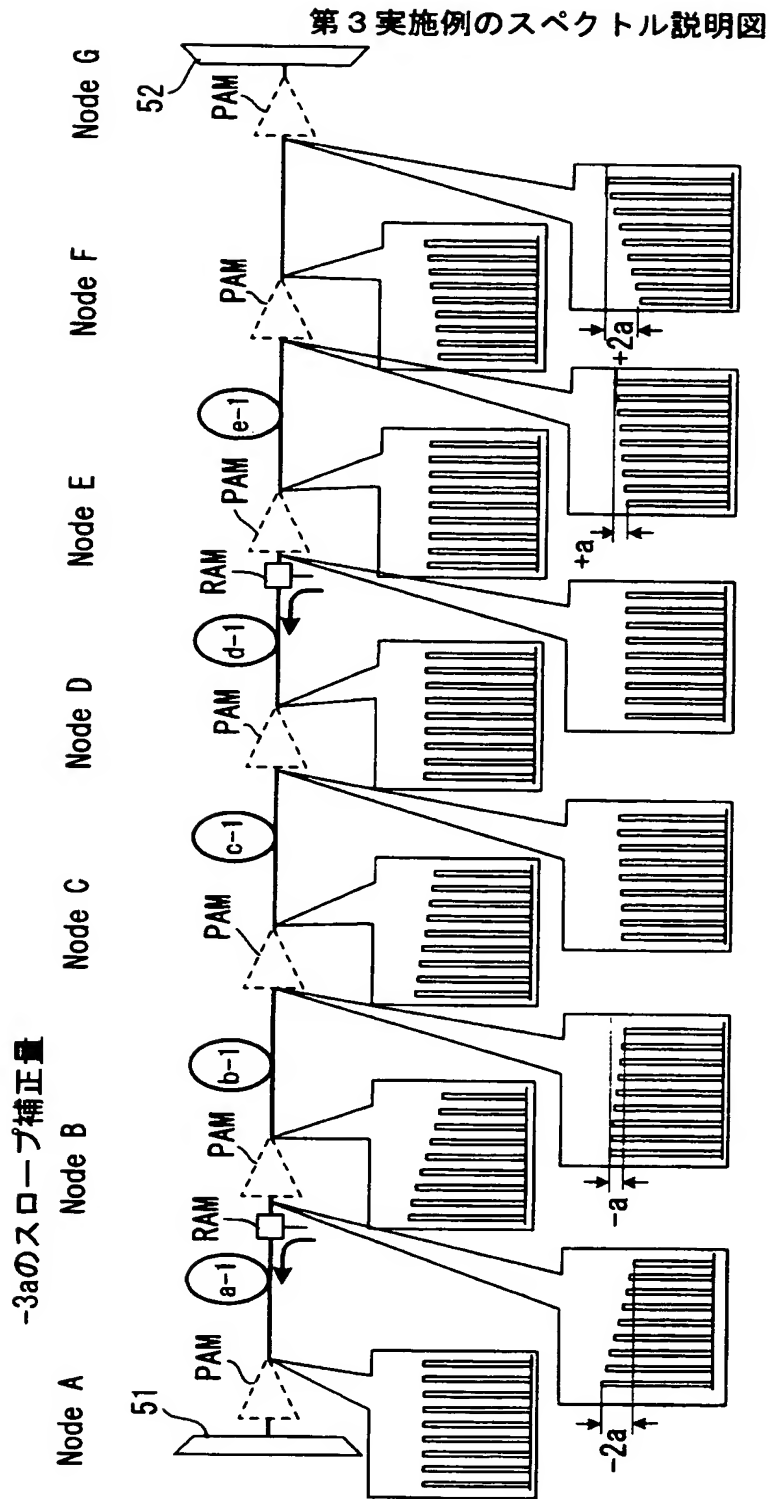


【図 16】

第3実施例の外部制御装置の処理フロー  
(ラマンアンプのスロープ補正量決定処理)

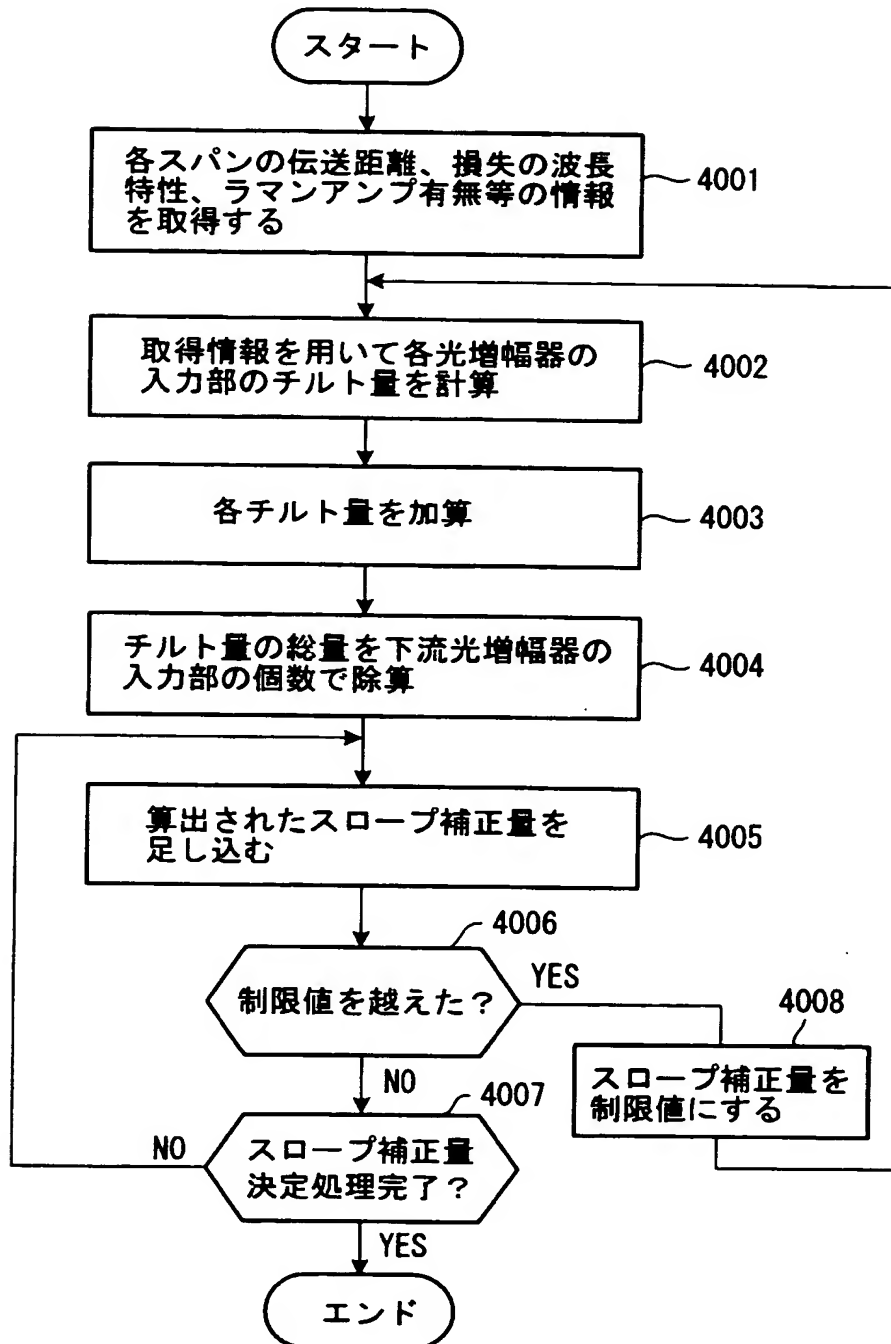


【図 17】

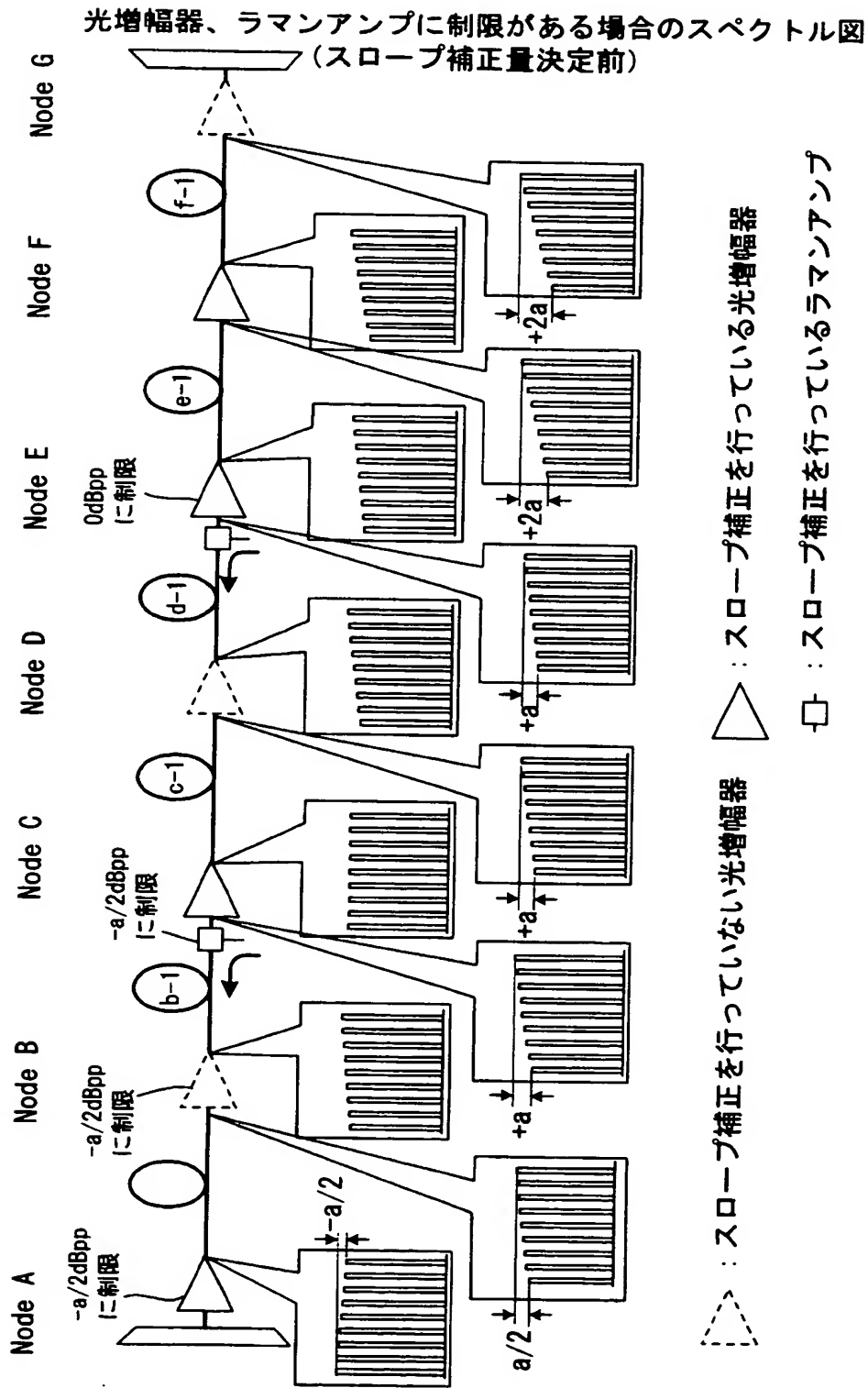


【図 18】

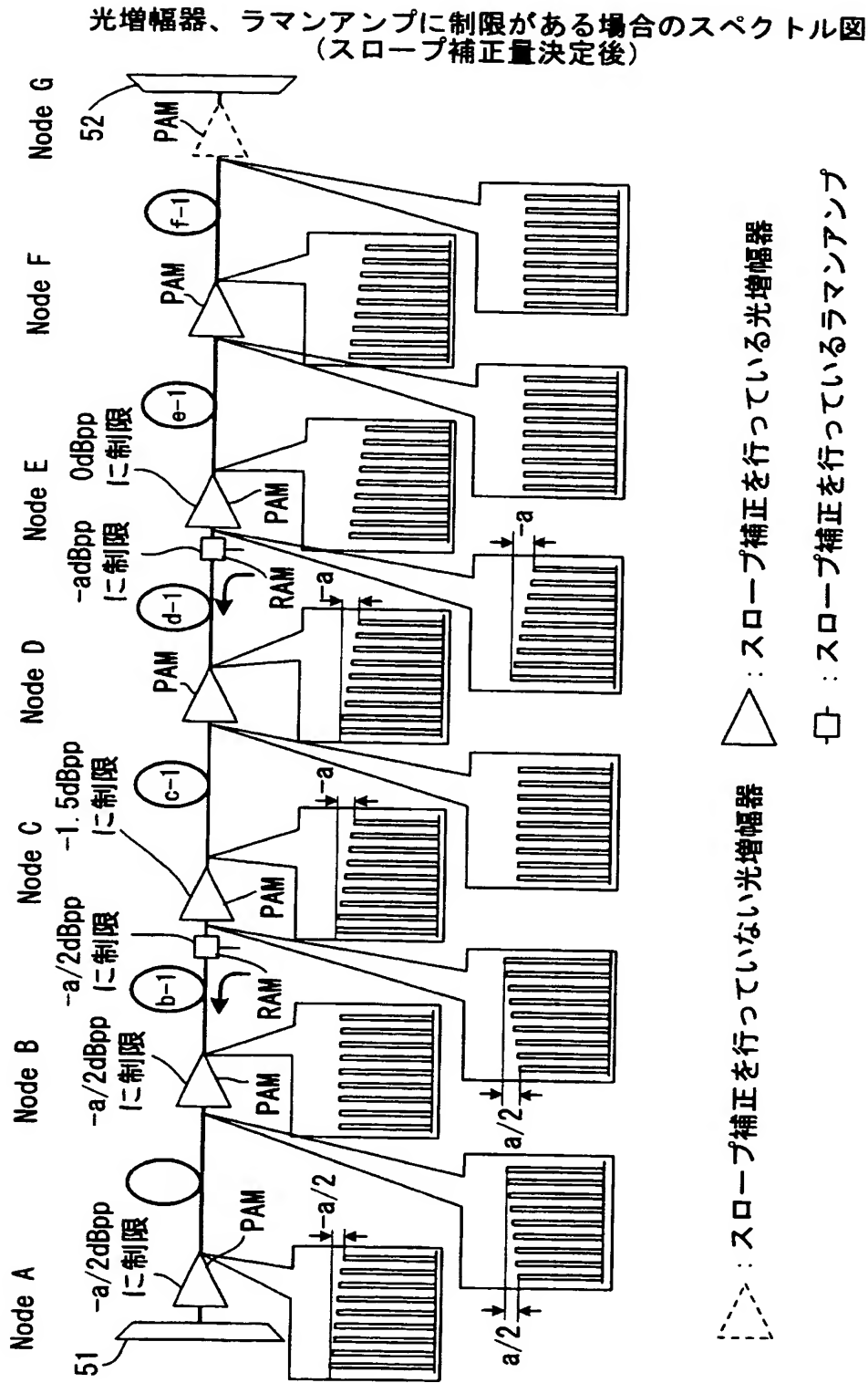
## 第 4 実施例の外部制御装置の処理フロー



【図 19】

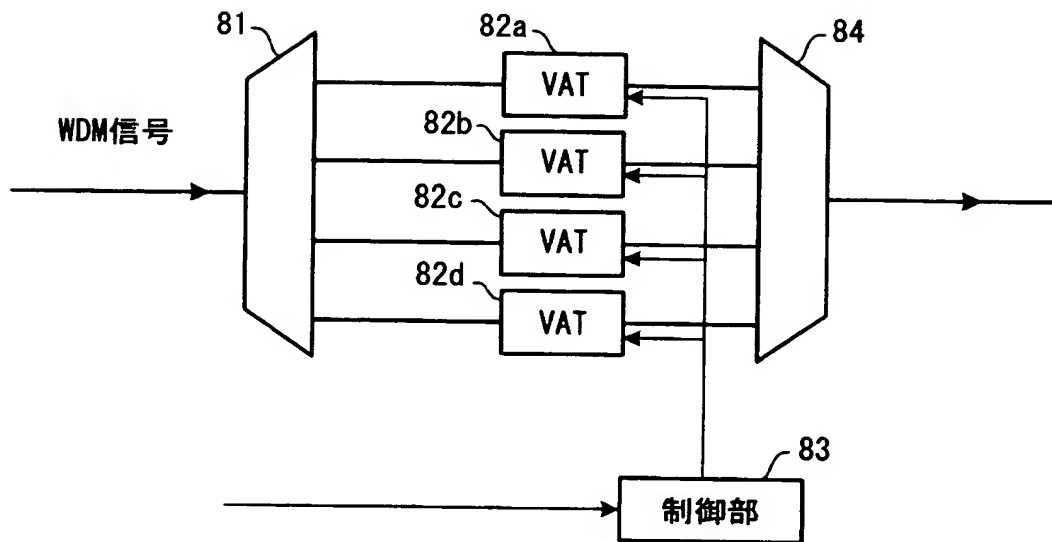


【図 20】



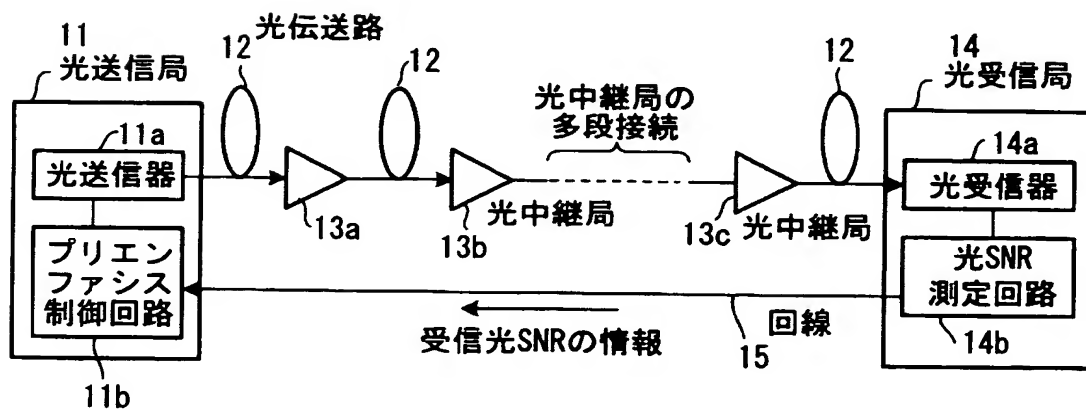
【図 2 1】

利得等化器の構成



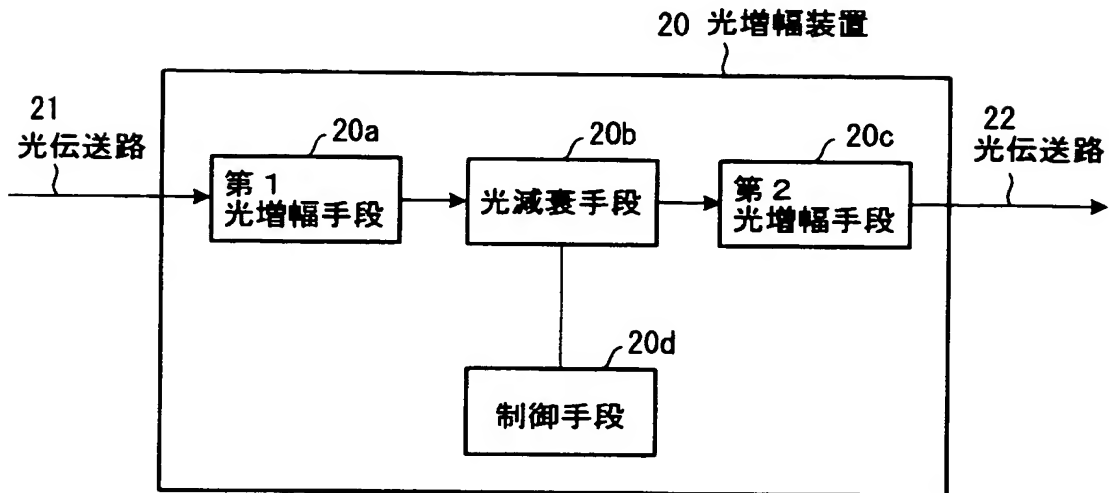
【図 2 2】

光プリアンプ制御の説明図



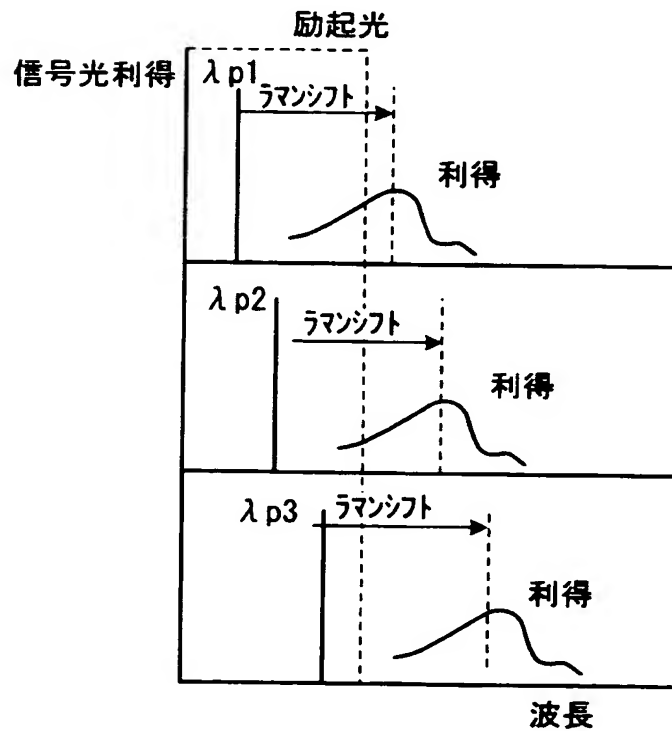
【図 23】

スロープ補正機能を備えた光増幅装置の構成図



【図 24】

励起波長と利得の関係図(その1)

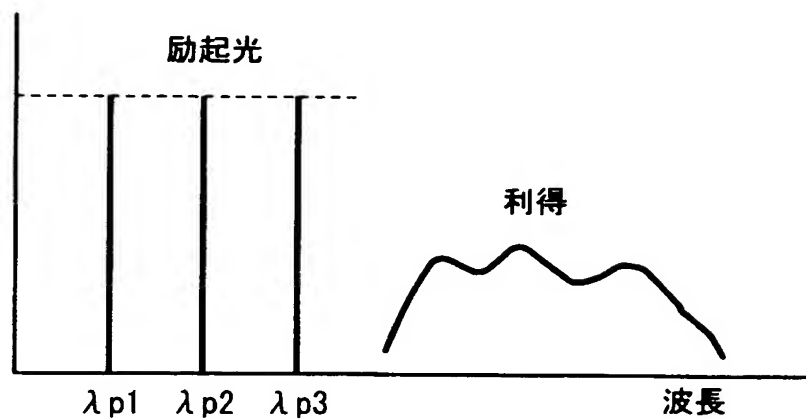




【図 25】

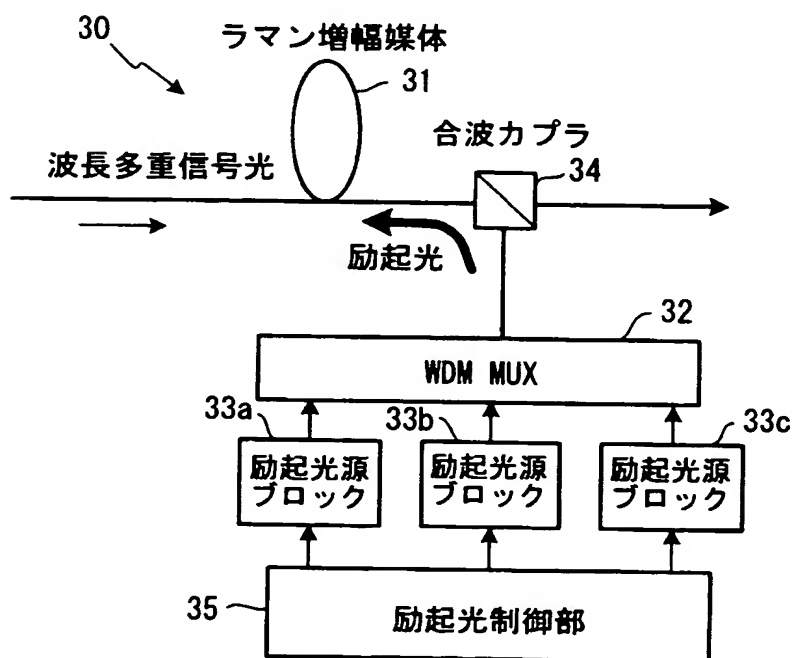
励起波長と利得の関係図(その2)

信号光利得

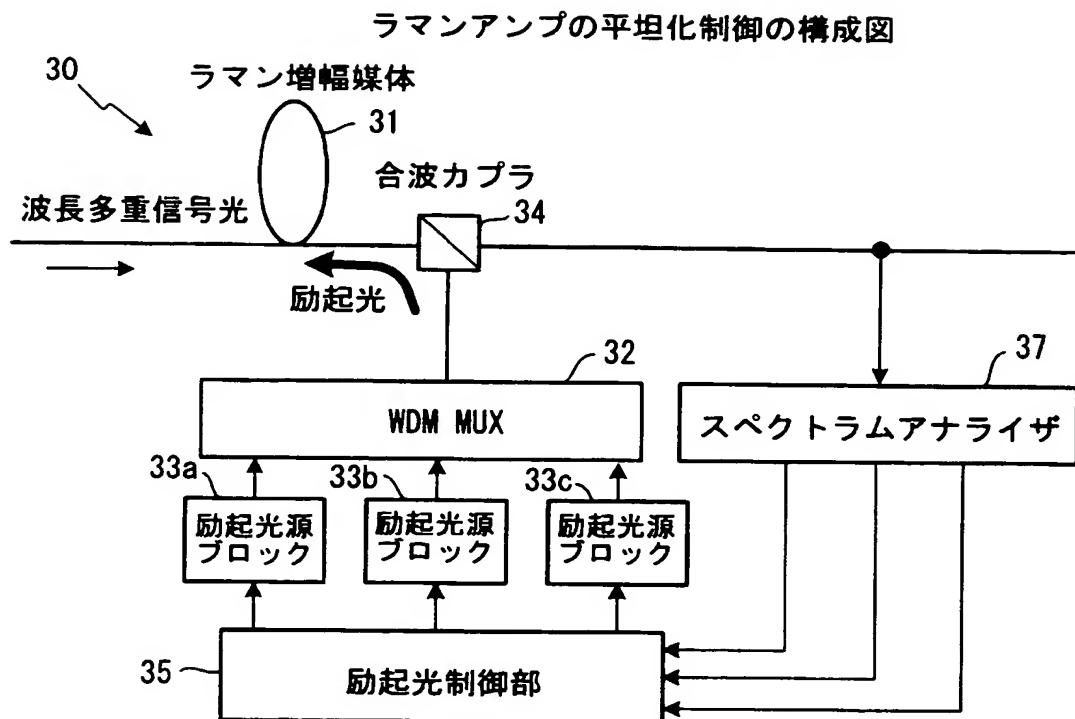


【図 26】

ラマンアンプのスロープ制御の構成図



【図 27】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光SNR改善を優先させ、かつ、光増幅器、ラマンアンプによるチルト補償を有効に行えるようにする。

【解決手段】 光損失媒質と該光損失媒質の損失を補償するための光増幅器やラマンアンプとが従属接続された波長多重光通信システムにおいて、光増幅器と同一ノードであって該光増幅器が存在するリンクと対向するリンクにおけるラマンアンプの使用状況、あるいは、光増幅器の下流側のノードにおけるラマンアンプの使用状況を取得し、該ラマンアンプの使用状況に基づいて光増幅器にスロープ補正を行わせるか否かを決定する。

【選択図】 図7

特願 2 0 0 2 - 3 1 5 2 0 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番地

氏 名

富士通株式会社

2. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社